

BIBL. NAZ.

Vitt. Emanuele III

RACC.
PANADINO

A

209

NAPOLI









DES COULEURS

AU POINT DE VUE PHYSIQUE, PHYSIOLOGIQUE,
ARTISTIQUE ET INDUSTRIEL

PAR

LE D^r ERNEST BRÜCKE

*Professeur de physiologie à l'Université de Vienne,
Membre de l'Académie des sciences et belles-lettres
de Vienne, correspondant de l'Académie de Paris.*

TRADUIT DE L'ALLEMAND PAR M^{lle} VICTORIA KUNZ

PAR E. SCHÜTZENBERGER

avec 46 figures intercalées dans le texte.

PARIS

J. B. BAILLIÈRE & FILS

DEPOSÉS DE LA LIBRAIRIE GÉNÉRALE DE RÉPUBLIQUE

DE LA RÉPUBLIQUE

LIBRAIRIE

LIBRAIRIE

LIBRAIRIE

10, RUE DE LA HARPE

10, RUE DE LA HARPE

10, RUE DE LA HARPE

1880



Race Paludans A 209

J. B. BAILLIÈRE ET FILS

LIBRAIRES DE L'ACADÉMIE IMPÉRIALE DE MÉDECINE
rue Hautefeuille, 19, à Paris.

CODEX MEDICAMENTARIUS PHARMACOPÉE FRANÇAISE

RÉDIGÉE PAR ORDRE DU GOUVERNEMENT

LA COMMISSION DE RÉDACTION ÉTANT COMPOSÉE
DE PROFESSEURS DE LA FACULTÉ DE MÉDECINE ET DE L'ÉCOLE SUPÉRIEURE
DE PHARMACIE DE PARIS, ET DE MEMBRES DE L'ACADÉMIE
IMPÉRIALE DE MÉDECINE ET DE LA SOCIÉTÉ DE PHARMACIE DE PARIS.

1 fort volume grand in-8, cartonné. Prix : 9 fr. 50 c.

Franco par la poste. Prix : 11 fr. 50 c.

Le même interfolié de papier réglé, solidement relié en demi-marquain. Prix : 16 fr. 50 c.

Le Codex de 1837 n'était plus en harmonie avec l'état de la science. —

Le NOUVEAU CODEX répond aux nécessités de la pratique médicale et pharmaceutique.

Les pharmaciens se conformeront, pour les préparations et compositions qu'ils devront exécuter et tenir dans leurs officines, aux formules insérées et décrites dans le *Codex* (loi contenant organisation des Ecoles de pharmacie, 21 germ. an XI, art. 32).

Dans le délai de six mois, à dater de la publication du nouveau *Codex*, tout pharmacien tenant officine ouverte, ou attaché à un établissement public quelconque, sera tenu de se pourvoir du nouveau *Codex* et de s'y conformer dans la préparation et confection des médicaments. Les contrevenants seront soumis à une amende de cinq cents francs. (Ordonnance du roi sur la publication d'un nouveau Code pharmaceutique, 8 août 1816, art. 2.)

Histoire naturelle des drogues simples, ou Cours d'histoire naturelle professé à l'Ecole de pharmacie de Paris, par N. J. B. G. GUIBOURT, professeur titulaire de l'Ecole de pharmacie de Paris, membre de l'Académie impériale de médecine. Quatrième édition, corrigée et considérablement augmentée. Paris, 1849-1851, 4 vol. in-8, avec 812 figures. 30 fr.

Pharmacopée raisonnée, ou Traité de pharmacie pratique et théorique, par N. E. HENRY et GUIBOURT. Troisième édition, revue et considérablement augmentée par J. B. GUIBOURT. Paris, 1847, in-8 de xxii-800 pages, à deux colonnes, avec 22 planches. 8 fr.

Manuel légal des pharmaciens et des élèves en pharmacie, ou Recueil des lois, arrêtés règlements et instructions concernant l'enseignement, les études et l'exercice de la pharmacie, et comprenant le programme des cours de l'Ecole de pharmacie de Paris, par N. J. B. G. GUIBOURT. Paris, 1852, 1 vol. in-12 de 230 pages. 2 fr.

J. B. BAILLIÈRE ET FILS.

Comme professeur et comme chargé de l'inspection des pharmacies dans le ressort de l'École de Paris, M. Guibourt a été à même de constater combien il serait utile aux élèves en pharmacie de connaître tous les règlements qui se rapportent à leur stage en pharmacie, à leurs études et à leur réception ; et aux pharmaciens de trouver réunies dans un petit volume toutes les lois ou décisions qui régissent l'exercice de leur profession.

Annuaire pharmaceutique, ou Exposé analytique des travaux de Pharmacie, Physique, Histoire naturelle pharmaceutique, Hygiène, Toxicologie et Pharmacie légale, fondé par O. RÉVEIL et L. PARISEL. 1^{re} année. Paris, 1863, 1 vol. in-18 de 400 p. 2^e année. Paris, 1864, 1 vol. in-18, avec fig. 3^e année. Paris, 1865, 1 vol. in-18, avec fig. 4^e année. Paris, 1866, 1 vol. in-18. Prix de chaque vol. 1 fr. 50

Traité de chimie anatomique et physiologique normale et pathologique, ou Des principes immédiats normaux et morbides qui constituent le corps de l'homme et des mammifères, par CH. ROBIN, membre de l'Institut (Académie des sciences), professeur à la Faculté de médecine de Paris, et F. VENDEIL, chef des travaux chimiques à l'Institut agricole, professeur de chimie. 3 forts volumes in-8, accompagnés d'un atlas de 45 planches dessinées d'après nature gravées, en partie coloriées. 36 fr.

La photographie appliquée aux recherches micrographiques, par A. MOITESSIER, docteur ès sciences, professeur agrégé à la Faculté de médecine de Montpellier. 1 vol. in-18 Jésus, avec 41 figures gravées d'après des photographies et 3 planches photographiques. 7 fr.

Pharmacopée universelle, ou Conspectus des pharmacopées d'Amsterdam, Anvers, Dublin, Edimbourg, Ferrare, Genève, Grèce, Hambourg, Londres, Oldenbourg, Parme, Sleswig, Strasbourg, Turin, Wurtzbourg; américaine, autrichienne, batave, belge, danoise, espagnole, finlandaise, française, hanovrienne, hessoise, polonaise, portugaise, prussienne, russe, sarde, saxonne, suédoise et wurtembergeoise; des dispensaires de Brunswick, de Fulde, de la Lippe et du Palatinat; des pharmacopées militaires de Danemark, de France, de Prusse et de Wurtzbourg; des formulaires et pharmacopées d'Ammon, Augustin, Béral, Bories, Brera, Brugnatelli, Cadet et Gassicourt, Cottereau, Cox, Ellis, Foy, Giordano, Guibourt, Hufeland, Magendie, Phœbus, Piderit, Pierquin, Radius, Ratier, Saunders, Schubarth, Sainte-Marie, Soubelran, Spielmann, Swediaur, Taddei et van Mons; ouvrage contenant les caractères essentiels et la synonymie de toutes les substances citées dans ces recueils, avec l'indication, à chaque préparation, de ceux qui l'ont adoptée, des procédés divers recommandés pour l'exécuter, des variantes qu'elle présente dans différents formulaires, des noms officinaux sous lesquels on la distingue dans divers pays, et des doses auxquelles on l'administre, par A. J. L. JOURDAN, membre de l'Académie de médecine. Deuxième édition, entièrement refondue et considérablement augmentée, précédée de tableaux présentant la concordance des divers poids médicaux de l'Europe entre eux et avec le système décimal. Paris, 1840, 2 forts vol. in-8, de chacun 800 pages, à deux colonnes. (25 fr.) 15 fr.

DES COULEURS

AU POINT DE VUE PHYSIQUE, PHYSIOLOGIQUE
ARTISTIQUE ET INDUSTRIEL.

CHEZ LES MÊMES ÉDITEURS.

DES COULEURS

ET DE LEURS APPLICATIONS AUX ARTS INDUSTRIELS

A L'AIDE DES CERCLES CHROMATIQUES

PAR E. CHEVREUL

Directeur des teintures à la Manufacture impériale des Gobelins,
Professeur administrateur au Muséum d'Histoire naturelle de Paris,
Membre de l'Institut (Académie des Sciences).

Paris, 1864. In-4, avec xxvii planches gravées sur acier
et imprimées en couleur par René Digeon.

CORREIL, TYP. ET STÉR. DE CRÉTÉ.

DES COULEURS

AU POINT DE VUE PHYSIQUE, PHYSIOLOGIQUE
ARTISTIQUE ET INDUSTRIEL

PAR

LE D^r ERNEST BRÜCKE

Professeur de physiologie à l'Université de Vienne,
Membre de l'Académie impériale des sciences et du Conseil
du Muséum impérial pour l'art et l'industrie,

Traduit de l'allemand sous les yeux de l'auteur

PAR J. SCHUTZENBERGER

avec 46 figures intercalées dans le texte.



PARIS

J. B. BAILLIÈRE ET FILS

LIBRAIRES DE L'ACADÉMIE IMPÉRIALE DE MÉDECINE

Rue Hautefeuille, 19.

Londres

Madrid

New-York

HIPPOLYTE BAILLIÈRE

C. BAILLY-BAILLIÈRE

BAILLIÈRE BROTHERS

1866

Tous droits réservés.

108

109

110

AVIS DE L'AUTEUR

POUR L'ÉDITION FRANÇAISE

En présentant au public français la traduction de cet ouvrage, dont l'édition originale allemande a paru il y a quelques mois à peine (1), je prie M. P. SCHUTZENBERGER d'accepter mes sincères remerciements pour les soins qu'il a bien voulu donner à ce travail. Ses connaissances spéciales et ses travaux personnels étaient pour moi et pour le public une garantie ; son concours intelligent et dévoué contribuera, j'en suis sûr, à mieux faire accueillir mon livre. Non content du rôle de traducteur, il a cru devoir faire quelques additions qui se signalent au lecteur par la précaution qui a été prise de les intercaler entre crochets [].

(1) *Die Physiologie der Farben für die Zwecke der Kunstgewerbe auf Anregung der Direction des kaiserlich österreichischen Museum für Kunst und Industrie bearbeitet von Ernst Brücke. Leipzig, Hirzel, 1866.*

J'ai revu les épreuves qui m'ont été toutes soumises avant d'être livrées à l'impression. J'y ai souvent apporté des corrections qui me semblaient mieux rendre le sens du texte original avec toutes ses nuances.

Je puis donc me porter fort de l'exactitude fidèle avec laquelle ma pensée a été rendue.

Unterach am Attersee, près Ischl (Autriche), 10 août 1866.

PRÉFACE DE L'AUTEUR

Pendant l'été de 1864, la direction du Muséum impérial des Arts et de l'Industrie de Vienne fit ressortir l'utilité et la convenance de la publication d'un traité des couleurs, écrit au point de vue de l'industrie et des arts industriels, et répondant à l'état actuel de nos connaissances en optique.

Je compris qu'il s'agissait de l'étude physico-physiologique des couleurs, et non d'une histoire chimique des matières colorantes; et, dès cette époque, je résolus de combler la lacune signalée dans notre bibliographie scientifique.

Fils d'un peintre et professeur d'anatomie à l'Académie des beaux-arts de Berlin, j'ai été, grâce à ma naissance et à ma position, en *relations* journalières, et pour ainsi dire dès mon berceau, avec des artistes. Aussi, m'étais-je habitué de bonne heure à envisager l'étude de l'optique dans ses rapports avec les arts. Dès l'automne de 1864, j'avais rédigé une grande moitié de la première partie de cet ouvrage, dont l'achèvement a été retardé jusqu'à ce jour par les exigences de mes fonctions et par d'autres travaux.

La première partie ne réclame pas de préface spé-

ciale. Elle ne renferme, en effet, que des faits depuis longtemps acquis à la science ou suffisamment appuyés sur des preuves certaines et irréfutables. Les conséquences et les applications que j'en ai déduites, en vue du but spécial de cet ouvrage, en découlent si naturellement, que je n'ai à prévoir aucune divergence d'opinion.

Il n'en est pas de même de la seconde partie, qui traite de la combinaison et de la juxtaposition des couleurs. Il s'agit ici de porter un jugement dans des questions où le goût est le principal guide, et qui sont, par cela même, sujettes à controverse. Le naturaliste paraît mal venu et bien osé de se mesurer en semblable champ clos ; et, pour ma part, je l'avoue, je serais tout porté à laisser ce soin périlleux aux artistes et à ceux qui ont consacré leurs études à l'art, si j'espérais voir combler, par leurs soins, la large brèche qui sépare l'art des sciences naturelles. L'expérience acquise ne me permet pas de prévoir de sitôt un semblable effort de leur part ; c'est pourquoi j'ai tenté moi-même cet essai.

Nous prions le lecteur de ne pas perdre de vue que cette partie, ainsi que l'ouvrage dans son ensemble, n'ont pas été écrits pour des peintres. Un véritable artiste, en effet, n'a pas besoin de consulter des livres pour apprendre à combiner ses couleurs ; celui qui n'a pas su tirer ses enseignements des grands modèles légués par les siècles passés, ne trouvera pas dans la lecture un talent qui lui fait défaut.

Il n'en est pas de même dans l'industrie et les arts

industriels. Le praticien n'a pas consacré sa vie à l'étude des couleurs et de leurs effets ; et, là où leur emploi devient nécessaire, il court le danger de compromettre, par une erreur, des productions très-recommandables à d'autres points de vue. Les disparates déplorables, observées si souvent dans la coloration des tissus, des tapisseries et des porcelaines, démontrent assez qu'il n'est pas permis à tout le monde de s'en fier à son tact inné. Le bon goût n'est pas une propriété commune, il n'est donné qu'à ceux qui savent trouver dans sa satisfaction le charme et l'embellissement de la vie. Il suffit d'être fortement impressionné par le beau et par le laid, en d'autres termes de sentir vivement et sainement, pour acquérir le droit de conseiller ceux qui s'occupent de la préparation des objets usuels sous leur forme la plus élégante et la plus belle. Quant au peintre, il crée, il entreprend un objet d'art qui existera par le fait seul de sa volonté, et il devient beaucoup plus difficile de lui donner des conseils.

Si, du reste, j'avais voulu tenter un essai sur la composition des couleurs dans la peinture artistique, je lui aurais consacré un chapitre spécial, pour ainsi dire en dehors du cadre de cet ouvrage. Le point de vue auquel il faudrait se placer est bien différent, en effet, de celui qu'exigent les applications de l'industrie et des arts industriels.

En peinture, nous trouvons des règles générales et ne comportant pas d'exceptions, règles qui, dans notre domaine, n'ont qu'une valeur secondaire. Ainsi,

dans un tableau, une couleur déterminée ne doit jamais dominer assez pour écraser, annuler l'effet des autres. Lorsque les exigences du sujet réclament l'usage étendu et intense d'une couleur, il convient de l'équilibrer par une ou plusieurs autres. Ce principe est vrai, surtout lorsqu'il est question d'effets d'art et non d'une copie servile de la nature. Une bonne peinture ne doit être ni verte, ni bleue, ni rouge et encore moins violette; elle ne doit pas avoir de couleur, comme on le dit un peu paradoxalement, en apparence (1). La loi précédente, loi qu'Owen Jones (2), a mise au nombre des principes fondamentaux de l'ornementation, est loin d'être applicable en toute rigueur dans l'industrie et les arts industriels. Beaucoup de productions de cet ordre doivent, au contraire, offrir une couleur dominante, et l'on a moins à se préoccuper des moyens d'affaiblir un effet que de la manière dont il convient de lui en associer d'autres. De plus, dans la peinture, l'exécution est beaucoup mieux limitée par la couleur naturelle des objets à reproduire, que dans le domaine de l'industrie et des arts industriels, où le dessin et l'ornement libre dominant. Le peintre ne peut employer

(1) C'est-à-dire qu'elle ne doit pas offrir de couleur trop dominante.

(2) The various colours should be so blended that the objects coloured, when viewed at a distance, should present a neutralized bloom. (*Grammar of Ornament*, London, 1856, proposition 22.) « Les diverses couleurs doivent être fondues ensemble, de telle façon que les objets colorés, vus de loin, offrent un effet neutralisé. »

les couleurs vives qu'avec une certaine mesure; car, pour obéir à la loi de l'illusion, il est conduit à y associer les autres couleurs, dans les rapports offerts par la nature; or, les couleurs intenses dont il dispose sont bien au-dessous de celles de la nature, les moyennes et les faibles devront donc aussi entrer dans son tableau en proportions plus restreintes; il se trouve ainsi borné dans ses moyens d'action.

Il cherchera donc à produire, par des combinaisons convenables et par les contrastes résultants, les effets qu'il ne peut ni ne doit réaliser directement.

Déjà Léonard de Vinci (1) prescrit de ne pas employer les couleurs dans tout l'éclat qu'elles ont dans la nature, mais de chercher à les affaiblir par combinaison. L'art industriel ne peut se charger de chaînes aussi lourdes; il perdrait inévitablement une grande part de ses meilleurs moyens, s'il voulait toujours obéir à cette loi. Il est, sur ce point, plus libre que la peinture, vu que les nécessités de l'illusion n'existent pas pour lui, ou tout au moins elles sont d'ordre secondaire. D'un autre côté, il est vrai, l'œuvre du peintre échappe au souffle de la mode et aux exigences continuelles de nouvelles inventions chromatiques, avec lesquelles le public tourmente l'industrie et les arts industriels. Le joug du luxe qui pèse sur ces derniers, tout en les alimentant, ne leur laisse d'autre ressource que de chercher à tirer le meilleur parti du goût régnant, et de ramener, si c'est possi-

(1) Lionardo da Vinci, *Tra'tta'to della pittura, con la vita dell'istesso autore*, scritta da R. du Fresne. Pa. igl, 1651.

ble, la mode, lorsqu'elle s'engage dans une mauvaise voie.

Quant aux principes qui doivent servir de base à la science de la combinaison des couleurs, je dirai, dès le début, que je n'approuve pas, et que je considère comme inexactes toutes les théories fondées sur une harmonie des couleurs, analogue à l'harmonie des sons et tendant à subordonner ainsi la science des couleurs à celle de la musique.

La tradition de l'importance attachée par les anciens peintres italiens au perfectionnement de la théorie de la musique, la manière dont Newton partageait le spectre solaire en intervalles correspondants à ceux de la gamme, n'ont pas peu contribué à propager jusqu'à nous de semblables idées, malgré leur désaccord avec nos connaissances en optique.

Cependant, bien des auteurs, avant moi, ont fait ressortir les différences qui séparent la science des sons de celle des couleurs. Ainsi, pour les sons, la succession des impressions est aussi et même plus importante que la concomitance, tandis qu'en fait de couleurs, c'est la concomitance qui l'emporte. Un objet d'art doit évidemment produire sur nous un effet d'ensemble. Les différences entre les durées de vibrations des rayons extrêmes du spectre visible, dans les conditions ordinaires, n'égalent pas seulement l'intervalle de deux octaves.

Mais voici une divergence encore plus grande : une même sensation colorée peut être aussi bien le résultat de l'action simultanée de deux ou plusieurs lu-

mières simples du spectre, que d'un seul rayon à durée d'oscillation déterminée.

La basse continue resterait-elle ce qu'elle est si l'*ut* dièze et le *fa*, joués en même temps sur un piano, donnaient le *ré* dièze; ou bien encore, si l'on pouvait, en renforçant ou en affaiblissant proportionnellement l'*ut* dièze et le *fa*, produire successivement les notes *ré*, *ré* dièze et *mi*?

Au surplus, la nature nous offre rarement, et les arts moins encore, des exemples de sensations colorées provoquées par de la lumière homogène. L'impression lumineuse est, le plus souvent, le résultat de l'effet combiné d'un grand nombre de lumières. Il résulte de là que, dans la pratique des arts, aucune conséquence tirée de l'intervalle dans les durées des vibrations n'est absolument vraie et nécessaire. Jusqu'à présent, les principes de l'harmonie des couleurs ne peuvent se déduire que de l'expérience, et l'explication de ces principes doit être cherchée dans la nature des couleurs, la manière dont elles se produisent dans les corps, dans la disposition de l'organe qui reçoit l'impression, et enfin dans les propriétés du sentiment envisagé comme la faculté psychique de traduire l'impression en sensation.

Selon moi, il n'est pas possible d'établir, en fait de couleurs, entre consonnance et dissonnance, une distinction aussi tranchée que pour les sons. Sans aucun doute, il y a des combinaisons qui plaisent et d'autres qui déplaisent généralement. Il suffit de comparer les compositions chromatiques de divers

peuples et de différentes époques, pour s'assurer qu'elles concordent beaucoup mieux dans leur ensemble que les symboles plastiques de l'ornementation. C'est précisément sur cet accord que repose la possibilité de trouver les bases d'une science de la composition des couleurs. Cependant, on ne peut nier l'existence de certaines combinaisons dont le succès ou l'insuccès dépendent du goût personnel. Il convient donc d'établir trois catégories de combinaisons chromatiques : 1° les bonnes ; 2° les mauvaises ; 3° les douteuses. On ne doit recourir à l'intervention de ces dernières que dans certains cas, lorsqu'il s'agit de produire un effet déterminé qui les réclame d'une manière urgente.

Nous laissons à l'initiative de l'artiste le soin de décider des cas où il y a convenance et nécessité de sacrifier la satisfaction de l'œil au caractère de l'œuvre qu'il a entreprise ; car il est difficile de porter un jugement absolu en pareille matière, et l'on ne peut s'attendre à éviter la critique et la contradiction. Rien ne démontre mieux combien peu l'on est d'accord sur la valeur des combinaisons colorées, dans les cas compliqués, que les discussions soulevées sur le mérite des peintres, envisagés comme coloristes. Pour les uns, les œuvres de Raphaël offrent la plus grande perfection dans l'harmonie des couleurs ; d'autres, au contraire, n'y admirent que la composition et le dessin, et placent en première ligne, pour le coloris, tantôt le Titien, tantôt Paul Véronèse.

Fr. Wilh. Unger (1) pense, avec beaucoup d'autres écrivains anciens, que Raphaël a rendu les services les plus extraordinaires dans l'art de l'harmonie des couleurs.

Contrairement à cette opinion, George Field, l'auteur de la *Chromatique* et de la *Chromatographie*, qui jouit encore actuellement d'une grande autorité en Angleterre, s'exprime comme il suit, dans l'introduction du dernier ouvrage : « Ainsi les anciens Grecs paraissent avoir compris les vrais principes de la lumière, de l'ombre et des couleurs, principes qui se perdirent du temps des Romains, ainsi que leurs ouvrages remarquables sur la peinture, celui d'Euphranor, entre autres, et ne furent plus retrouvés lors de la renaissance des sciences en Europe. Aussi Michel Ange, Raphaël et tous les anciens peintres de Rome et de Florence, si distingués sous d'autres rapports, restèrent-ils dans l'ignorance complète de ces principes, ainsi que du goût réellement épuré et élevé relatif à l'effet du coloris. » L'auteur s'appuie encore sur l'autorité de Joshua Reynolds qui partage son opinion. Il cite des passages de ses œuvres que je n'ai pu consulter. Quelque grande que soit, en Angleterre surtout, l'autorité de Field, nous verrons que sa doctrine des équivalents ne repose pas sur des fondements plus solides que la théorie musicale. Elle est fautive d'un bout à l'autre, et doit son origine à l'interprétation inexacte de phé-

(1) Fr. Willh. Unger, *Die bildende Kunst*. Göttingen, 1858, p. 192.

nomènes naturels, vrais et bien observés par eux-mêmes. Il est tout aussi impossible de poser des règles générales, d'après lesquelles, dans chaque cas donné, on pourra résoudre le problème de la composition des couleurs, que d'enchaîner le poète dans les lois infranchissables d'un art poétique, absolu dans ses commandements. Le travail artistique exige l'espace et une certaine liberté d'allures. Aussi, dans le maniement des couleurs, comme ailleurs, n'y a-t-il commandement ou défense qui ne soient susceptibles de transgression.

Je n'ai pas non plus cherché à indiquer les moyens d'accorder les couleurs dans leurs différences les plus délicates; les ressources pratiques d'une nomenclature nous faisaient défaut. Nous n'aurions pu tenter ce travail qu'avec le secours d'exemples chromo-lithographiés et le prix de l'ouvrage aurait été augmenté outre mesure. Du reste de semblables exemples se trouvent dans d'autres ouvrages, avec un choix très-riche (1).

(1) Tels sont les ouvrages de : Owen Jones, *Grammar of ornament*; London, 1856. Édition allemande, Leipzig. — Owen Jones, *Plans of the Alhambra*; London, 1842. — Hoffmann et Kellerhoven, *Recueil de dessins*; Paris, 1858. — Tymms and Wyatt, *Art of illuminating as practised in Europe from the earliest times*; London, 1860. — J.-B. Waring, *Textile fabrics with essays by Owen Jones and Wyatt*; London. — Zahn, *Die schönsten Ornamente und merkwürdigsten Gemälde aus Pompeji, Herculaneum und Stabiä*; Drei Folgen, Berlin, 1829, 41, 59. — Zahn, *Ornamente aller klassischen Kunstepochen nach den Originalen in ihren eigenthümlichen Farben dargestellt*. Erste Aufl. Berlin, 1843; Zweite; Berlin 1853. — Nicollini (Fausto et Felice), *Le case*

Je me suis borné à éclairer, au moins dans leur origine, les diverses voies au moyen desquelles on arrive à des compositions chromatiques, afin que le praticien soit guidé, mieux qu'auparavant, dans l'étude des modèles offerts en réalité ou en image. Si, sous ce rapport, mon livre contient des enseignements nouveaux et des points de vue exacts, je n'en dois pas revendiquer tout le mérite. En effet, mes idées sur la composition des couleurs se sont formées sous l'influence de conversations fréquentes, sur ce sujet, avec mon père Joh.

ed i monumenti di Pompei disegnati e descritti. Napoli, 1854. — Morey et H. Roux aîné, *Charpente de la cathédrale de Messine*; Paris, 1841. — Edmond Lévy et J.-B. Capronnier, *Histoire de la peinture sur verre en Europe et particulièrement en Belgique*; Bruxelles, 1860. — Gruner, *Décorations de palais et d'églises en Italie*; Paris et Londres, 1854. — J.-C. Robinson, *Treasury of ornamental art*; London. — H. Schaw, *The decorative arts of the middle ages*; London, 1851. — Don. Ben. Gravina, *Il duomo di Montréal*; Palermo, 1861. — Al. Ferd. v. Quasi, *Die christlichen Bauwerke von Ravenna aus dem 5. bis 9. Jahrhundert*; Berlin, 1842. — *Monuments inédits ou peu connus faisant partie du cabinet de Guil. Libri*; London, 1862. — Ch. Louandre, *Les arts somptuaires*; Paris, 1858. — *Monumentos arquitectonicos de España publicados de R. Orden y por disposicion del ministerio del fomento*; Madrid, 1859 et suiv. — Gottfr. Semper, *Der Stil in den technischen und tektonischen Künsten oder practische Aesthetik, ein Handbuch für Techniker, Künstler und Kunstfreunde*; Frankfurt a. M. 1860. — Prisse-d'Avennes, *Histoire de l'art Egyptien, d'après les monuments depuis les temps les plus reculés jusqu'à la domination Romaine*; Paris, 1858. — William Warrington, *The History of stained glass illustrated by coloured examples of entire windows in the various styles*; London, 1848. — Enfin, les *mélanges d'archéologie, d'histoire et de littérature*, publiés à Paris.

Gottfr. Brücke, tant pendant mes années d'étude que plus tard. Je fus ainsi conduit naturellement sur la voie des observations méthodiques, et amené à tirer parti des riches matériaux offerts à notre investigation par la nature et l'art. Les principes que j'émetts sont l'expression de mon goût personnel, jamais je n'ai conseillé ou blâmé une combinaison de couleurs, contre ma propre conviction. Depuis plus de vingt-cinq ans je suis occupé à me former une opinion sur ces questions, et à appuyer sur une expérience solide le jugement de ce qui peut être généralement considéré comme fondé.

J'ajoulerai encore quelques mots sur les procédés les plus convenables pour acquérir une semblable expérience.

Les ouvrages de beaucoup d'écrivains anciens et contemporains sont, même quand ils s'occupent de questions scientifiques, plutôt un lieu de réunion des idées les plus à la portée de l'auteur et peut-être aussi du lecteur, que le fruit de l'observation et de la réflexion. Nous rangerons dans cette catégorie ceux qui renvoient le débutant à l'étude de la nature et particulièrement des fleurs.

L'observation attentive de la création peut être très-féconde sous beaucoup de rapports; mais en fait de couleurs, et pour l'inexpérience d'un commençant, elle est, à mon avis, une route dangereuse et susceptible d'égarements. Les objets de la nature et notamment les fleurs, ces enfants du printemps, exercent sur nous une influence magique qu'ils ne

doivent pas uniquement à la perfection et à l'harmonie de leurs formes et de leurs couleurs, mais aussi, en partie, à une association d'idées. Aussi pouvons-nous facilement nous tromper, lorsque nous décomposons leur beauté en divers facteurs et que nous cherchons à transporter ceux-ci isolément, à d'autres objets.

L'exemple suivant fera mieux comprendre notre pensée.

Qu'y a-t-il de plus agréable à l'œil que la rose entourée de ses feuilles vertes? c'est la fleur de l'amour et de la beauté virginale. Doit-on en conclure que le rose et le vert de feuille constituent une des associations de couleurs les plus parfaites? Non certes; le rouge de la rose claire forme avec le vert une combinaison bonne en elle-même, mais dont l'usage, nous le verrons plus tard, est assez restreint. Le rouge de la rose foncée associé au vert appartient précisément aux cas désignés plus haut comme douteux. Les opinions sont partagées sur la valeur de cette association, quelques-unes sont même défavorables.

Sir J. Gardner Wilkinson, dont l'avis doit être pris en considération avant celui de bien d'autres, dit formellement qu'elle peut être supportable, quoique rarement et seulement dans le cas de réunion des fleurs rouges (Roses, Camélias) avec leurs feuilles.

La nuance de l'œillet rouge, si voisine de celle de la rose, et qui nous plaît tant sur la fleur naturelle

est, d'après lui, insupportable en combinaison avec le vert (1).

La beauté et la finesse inimitables des couleurs de certaines fleurs s'opposent encore à leur emploi, dans l'étude de l'harmonie des couleurs. Elles éblouissent le débutant et peuvent troubler son jugement peu affermi par le secours d'une expérience multiple.

Quelle que soit la beauté du timbre d'un instrument de musique, nous n'en reconnaissons pas moins quand il est mal accordé, et nous ne prendrons pas pour bonne une composition médiocre exécutée avec lui. Les choses ne se passent pas tout à fait ainsi pour les couleurs. On ne peut nier que la beauté et l'éclat de certaines d'entre elles ne masquent souvent, en partie, un défaut d'accord.

Je n'approuve pas ceux qui cherchent leur expérience dans l'étude exclusive des anciens vitraux coloriés et des émaux. Dans ce cas, en effet, le nombre très-limité de couleurs dont disposent les artistes, a autorisé bien des licences échappant au blâme par la beauté toute spéciale de certaines de ces couleurs, et qu'on ne pourrait se permettre sur toile. Il convient donc de comparer entre elles toutes les productions de l'art et de l'art industriel, pour apprendre à distinguer ce qui convient à chacune en particulier. A quelle époque de l'art faut-il donner la préférence ? Nous pensons que toutes celles pen-

(1) J. Gardner Wilkinson, *On Colour and the necessity for a general diffusion of taste among all classes*; London, 1858.

dant lesquelles la peinture et l'architecture ont été cultivées avec succès doivent fixer l'attention. En cela nous restons certainement dans l'opinion générale, mais il ne convient pas de s'en tenir à ce programme. La chromatique est, en effet, indépendante de la peinture envisagée comme art de représenter les objets et de créer, elle peut se développer sans elle. Ainsi chez les Maures d'Espagne, la peinture n'a jamais jeté de vif éclat, tandis que leurs combinaisons de couleurs, dans les tissus et les ornements, sont restées sans rivales, chez les autres peuples. L'art des combinaisons colorées peut aussi devancer dans son perfectionnement la peinture envisagée comme art de reproduction. La réalité de ce phénomène est prouvée par les mosaïques de l'église Saint-Marc à Venise. En y comparant les productions de diverses époques, on se demande si, comme dessin et comme couleur, les ornements plus récents dans lesquels les figures se meuvent librement, et sont terminées avec plus d'art, l'emportent sur les anciennes, où le manque de perspective et la raideur des sujets prouvent qu'ils datent d'une époque de progrès peu avancé pour la peinture considérée comme art représentatif. L'art du coloris ne survit souvent pas seulement à la période d'apogée de la peinture et de l'architecture, mais encore à celle du bon goût en général. On observe ce fait dans beaucoup de monuments byzantins. Il semble que les bonnes traditions sont plus durables en fait de couleurs qu'en fait de formes.

Cette résistance à l'altération n'est peut-être qu'apparente et résulte de ce que les influences débilitantes agissent plus fortement, par leur nature même, sur les formes que sur les couleurs. Un intérêt beaucoup moindre s'attache aux périodes pendant lesquelles, l'art affaiblit ses couleurs par un mélange immodéré de blanc et de gris. Ainsi dans la dernière moitié du siècle passé et la première de celui-ci, on a cherché à bannir, par une sorte de prudence, l'emploi et la combinaison de couleurs vives et saturées. On rend ainsi tout supportable, mais aussi, souvent inefficace; et le jugement est sujet à s'égarer. Je n'entends pas professer par là une préférence absolue pour les combinaisons de couleurs vives. La pratique doit faire usage de tous les moyens dont elle dispose, mais la théorie doit débiter par l'étude des combinaisons de couleurs saturées. Car les effets sur lesquels elle base ses principes, apparaissent alors le plus nettement. Elle jouit, en outre, du bénéfice d'un nombre plus limité de cas, lui permettant de construire, sur un terrain plus solide, les fondements au moyen desquels elle pourra rayonner plus loin dans diverses directions.

Vienne, 27 janvier 1868.

DES COULEURS

PREMIÈRE PARTIE

DES COULEURS, ET DE LEUR GÉNÉRATION.

§ 1. — Des couleurs en général.

Les couleurs sont des sensations provoquées en nous par la lumière.

Ces sensations diffèrent aussi bien en qualité qu'en intensité.

De la qualité de la sensation que produit la lumière émise par un objet, dépend le nom de la couleur que nous attribuons au corps.

Ainsi nous confondons sous le nom de *couleur*, aussi bien la sensation que la cause productrice. Lorsque nous éprouvons la sensation *rouge*, qu'elle dérive ou non d'un objet extérieur, nous disons : que nous voyons *rouge*, c'est-à-dire que nous sommes impressionnés, comme par les objets que nous avons l'habitude d'appeler *rouges*.

On sait que la lumière, dans son essence, n'est

autre chose qu'un mouvement vibratoire très-rapide des molécules d'un fluide impondérable pour nous, appelé *Éther*. La durée d'une vibration varie entre $\frac{1}{464}$ et $\frac{1}{181}$ de la billionnième partie d'une seconde. Ces limites ne sont qu'approchées, et destinées à fixer les idées sur la rapidité vraiment extraordinaire avec laquelle s'exécutent ces vibrations. En réalité, il y en a de plus longues et de plus courtes, mais leur effet est tellement affaibli par leur passage à travers les milieux transparents de l'œil, qu'on peut le considérer comme nul. Ou bien, en raison de leur trop grande ou trop faible durée, ces vibrations ne sont pas aptes à provoquer une impression sensible sur la rétine. Suivant la durée des vibrations, nous éprouvons telle ou telle sensation. Les plus longues, parmi celles qui peuvent donner lieu à une sensation lumineuse, produisent le rouge; viennent ensuite l'orangé, le jaune, le vert, le bleu et le violet (1).

Newton distingue sept couleurs primitives, au lieu

(1) Voici, d'après les mesures de Fresnel, les nombres de vibrations exécutées en une seconde par les lumières qui composent le milieu des bandes différemment colorées du spectre.

	Nombres de vibrations en une seconde, exprimés en billions.	
Violet.	735	
Indigo	691	
Bleu.	653	
Vert.	607	
Jaune.	563	
Orangé.	532	
Rouge.	500	

(Note du traducteur.)

des six que nous venons de nommer. Il dédouble, en effet, le bleu, en affectant le nom d'indigo à celui qui avoisine le violet ; tandis que le bleu *placé près du vert* et qui se rapproche du bleu turquoise, est appelé *bleu cyanique*. Cette expression n'est pas destinée à rappeler la couleur du cyanogène gazeux qui est incolore, ni celle de la fleur des champs si connue sous la dénomination usuelle de *bluet* (*centaurea cyanus*), mais elle fait allusion aux préparations ferrocyaniques, au bleu de Prusse ou de Berlin. Ces produits mélangés à l'eau ou à l'huile, se distinguent de l'indigo et de l'outremer, par un reflet verdâtre. La tendance au vert varie, du reste, avec le mode de fabrication et la nature des véhicules.

Dans cet ouvrage, je donnerai le nom de *bleu cyanique* aux couleurs placées entre le vert de mer, d'une part, et l'outremer le moins violacé, d'une autre. Ainsi le bleu de myosotis et le bleu turquoise seront compris dans cette catégorie.

La couleur d'un ciel pur est bleu d'outremer ; cependant on désigne souvent par le nom de *bleu de ciel*, les nuances qui appartiennent plutôt au groupe du bleu cyanique qu'à celui de l'outremer. En réalité, les sept couleurs de Newton, comme il le dit lui-même, ne sont que des échelons convenablement espacés, d'une série presque continue de sensations, qui se modifient progressivement avec la durée de vibrations, depuis le rouge jusqu'au violet. Lorsqu'on fait tomber une bande de lumière solaire, isolée par son passage à travers une fente pratiquée dans le

20 DES COULEURS ET DE LEUR GÉNÉRATION.

volet d'une chambre obscure, sur l'une des faces d'un prisme en flint-glass (fig. 1, n° 2), et qu'on reçoit le faisceau émergent sur un écran en papier blanc placé à une distance convenable, ou dans une lentille, on trouve les diverses lumières qui composent la lumière blanche du soleil, séparées et étalées dans l'ordre décroissant de la durée des vibrations). En effet, le résultat des deux réfractions, à l'entrée de l'air dans le verre et à la sortie du verre dans l'air, est d'écarter d'autant plus la lumière du chemin primitivement parcouru, qu'elle a une durée de vibrations plus courte.

La figure 1 donne une représentation graphique du phénomène.



Fig. 1. — Passage d'un rayon solaire à travers le prisme.

Il découle de là, que la lumière blanche du soleil est composée de diverses espèces de lumières. Une lumière qui n'est pas formée par la superposition de deux ou plusieurs lumières, distinctes par la durée des vibrations, est dite *simple* ou *monochromatique*. Les couleurs isolées par le prisme et dont l'ensemble forme le spectre solaire, sont *monochromatiques*.

[L'instrument de Fraunhofer pour la détermina-

tion des indices de réfraction, tel que l'a publié

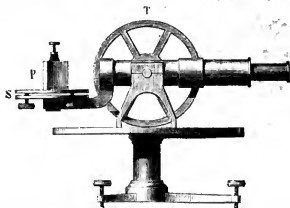


Fig. 2. — Instrument de Fraunhofer, vu de face. T, théodolite. S, disque mobile autour d'un axe vertical et placé devant l'objectif du théodolite. P, prisme en flint-glass.

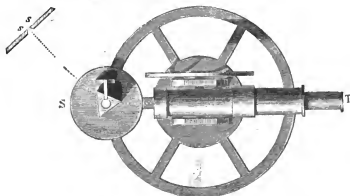
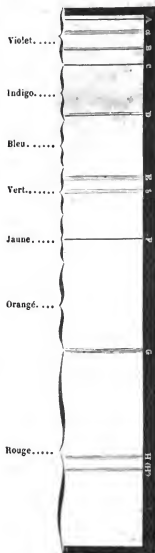


Fig. 3. — Le même, vu d'en haut.

M. Beer (1), peut servir à l'étude du phénomène de dispersion.

(1) Beer, *Traité de haute optique*, traduction française de M. Forthomme. Paris, 1858.



Dans ces conditions, on observe que le spectre n'est pas continu; il présente un grand nombre de raies obscures, plus ou moins larges, à position fixe et déterminée.

Les principales de ces raies désignées par les lettres A, B, C... H sont représentées par la fig. 4, elles peuvent servir comme points de repère utiles lorsqu'il s'agit de désigner une position fixe du spectre.]

Nous pouvons intercaler, par la pensée, les diverses espèces de pourpres, dans l'espace qui sépare le rouge du violet. Le cercle des couleurs, dans le spectre, se trouve ainsi fermé. On aurait, en partant du rouge, l'orangé, le jaune, le vert, le bleu, l'indigo, le violet et le pourpre. En réalité, il n'existe pas de lumière monochromatique produi-

sant la sensation du pourpre. Celle-ci est toujours le résultat de l'impression complexe de plusieurs lumières élémentaires. Le plus simple de ces mélanges se compose de rouge et de violet. On réalise un semblable effet en disposant un prisme à double réfraction de manière à superposer le violet de l'un des spectres avec le rouge de l'autre. La génération du pourpre s'obtient encore par l'élimination ou l'affaiblissement du vert, dans la lumière blanche. La couleur complémentaire qui reste, est le pourpre.

Les sensations propres à toutes les couleurs spectrales, monochromatiques, peuvent être évoquées par des mélanges de deux ou plusieurs lumières simples.

La nature et l'art nous offrent bien peu d'exemples de lumières monochromatiques. Tels sont :

La flamme jaune d'une lampe à alcool, dont on a imprégné la mèche de sel marin (chlorure de sodium). Elle est à peu près monochromatique.

Le verre coloré en rouge foncé, par l'oxydure de cuivre, qui ne laisse passer que du rouge simple ; si la teinte est moins intense, la lumière émergente sera encore mêlée à du jaune et à de l'orangé.

Il existe une espèce de papier rouge, préparé pour les fabricants de fleurs artificielles, en appliquant du carmin de cochenille en poudre, sur du papier coloré en jaune dans toute son épaisseur, qui ne réfléchit presque que de la lumière rouge homogène.

Les couleurs employées dans la peinture à l'huile, à l'aquarelle, en fresque sont généralement des mélanges de toutes les couleurs du spectre, com-

binées dans d'autres proportions que dans le blanc.

Il suffit, pour s'en assurer, de découper une fente rectangulaire de 0^m,001 de large et de 0^m,03 de long, dans une feuille assez large de papier noir.

Au-dessous de cet écran on place, successivement, des feuilles de papier blanc recouvertes avec les couleurs soumises à l'expérience, et on examine la fente avec un prisme. L'essai doit se faire dans le voisinage d'une fenêtre. On verra des spectres renfermant les lumières simples, émises par la couleur.

On trouve ainsi que le vermillon, le minium et la gomme-gutte contiennent toutes les lumières simples, mais que, dans le vermillon, le rouge domine ; dans le minium, ce sont le rouge et le jaune ; dans la gomme-gutte, le rouge et le vert l'emportent sur les autres couleurs. Les tissus colorés, les pétales des fleurs, les papiers peints, les plumes des oiseaux, les ailes des papillons, etc., soumis à la même épreuve, prouvent la rareté des cas où une couleur est monochromatique. Le plus souvent, comme nous l'avons énoncé plus haut, la nature et l'art n'offrent à notre œil que des mélanges assez complexes.

§ 2. — De la saturation des couleurs.

Une couleur est dite *saturée*, lorsqu'elle se présente à nous avec un caractère spécifique qui ne peut plus être dépassé. Ainsi le bleu et le vert sont saturés s'ils

ne sont plus susceptibles de devenir davantage bleu ou vert.

Si, au contraire, nous reconnaissons que la couleur en question est surpassée, dans son caractère spécifique, par une autre, nous devons la considérer comme éloignée, plus ou moins, de son point de saturation.

Nous venons de voir que les couleurs de la plupart des corps sont composées de plusieurs couleurs simples. Parmi ces dernières, il en est qui, associées et réunies sur la même place de la rétine, produisent la sensation du blanc. Tels sont : le rouge et le vert bleuâtre ; l'orangé et le bleu verdâtre ; le jaune et le bleu d'outremer ; le jaune vert et le violet.

Une couleur étant donnée, réunissons ces lumières, par paires, de manière à former le blanc, nous aurons un reste coloré et offrant la couleur correspondante dans son plus grand état de pureté.

La saturation augmente, par conséquent, avec la quantité de ce reste coloré et diminue avec la dose croissante de la partie blanche. Celle-ci affaiblit et délaye l'impression en y ajoutant l'effet lumineux en général. Malgré cela, nous ne sommes pas en droit de dire que la saturation est égale à la quantité de lumière colorée, divisée par la dose de lumière blanche. On admettrait ainsi qu'une couleur très-foncée et à peine visible, peut paraître saturée, pourvu qu'elle ne renferme pas de blanc. Cette conséquence ne s'accorde nullement avec l'idée que nous nous formons de cette propriété.

Il existe une limite inférieure d'intensité, au-dessous de laquelle les couleurs les plus pures perdent leur saturation; leur influence sur la rétine devient trop faible et leur caractère spécifique n'apparaît plus d'une manière claire et précise. Rien ne donne une meilleure idée du phénomène que les effets du crépuscule. On voit alors les couleurs saturées et très-vives un instant auparavant, s'obscurcir et perdre leur saturation.

Il convient de faire ressortir ici une considération très-importante dans l'étude des couleurs. Si une surface qui nous paraît colorée, ne réfléchissait aucune lumière, elle nous semblerait noire; ne renvoie-t-elle que peu de lumière blanche, elle semble grise. A mesure que la proportion de lumière blanche augmente, le gris s'éclaircit et finit par passer au blanc. D'après cela, nous pouvons nous représenter les couleurs des corps comme composées d'une couleur saturée et d'une proportion plus ou moins forte de gris; le gris offrant lui-même toutes les variétés d'intensité, depuis le noir jusqu'au blanc. Enlevons le gris, nous aurons une couleur saturée, si toutefois elle est assez intense pour faire valoir son caractère, d'une manière marquée. Supprimons, au contraire, la couleur, il reste du gris, mais un gris spécial appelé *neutre*, dont il faut savoir distinguer le gris bleu, le gris jaune, etc., renfermant encore une certaine dose, soit de bleu, soit de jaune. Entre le gris neutre ou normal et la couleur absolument saturée, viennent se placer les couleurs à degrés plus ou

moins élevés de saturation, suivant qu'elles se rapprochent plus ou moins de l'extrême.

§ 3. — De la clarté des couleurs.

Nous mesurons la clarté d'une couleur, par l'énergie de la sensation produite sur nous (1). S'agit-il des couleurs objectives attribuées aux corps, nous devons faire abstraction des variations dans l'éclairage et regarder les objets colorés et les pigments sous l'influence d'une même lumière. Une comparaison de la clarté devient très-difficile, toutes les fois qu'il est question de l'apprécier, non pour une seule et même nuance, mais pour des nuances différentes. Le jugement devient alors incertain, et il peut arriver souvent que deux personnes, quelque habituées qu'elles soient à un semblable travail, diffèrent complètement d'avis. Cette incertitude augmente encore par l'influence que peut exercer la nature de l'éclairage sur la clarté relative de diverses nuances. Tous ceux qui ont quelque expérience dans l'observation des couleurs savent, qu'à la lumière arti-

(1) Sous les noms de *Helligkeit* (clarté) et d'*Intensität* (intensité), l'auteur distingue deux qualités très-voisines, comme le montrent les définitions qu'il en donne. Nous mettons les deux définitions en regard, afin que le lecteur puisse apprécier la différence. La clarté (*Helligkeit*) d'une couleur se mesure par l'énergie de la sensation produite sur nous. L'intensité d'une couleur exige à la fois un degré élevé de clarté et l'état de saturation.

(Note du traducteur.)

ficielle, la teinte bleue parait plus foncée et plus noirâtre qu'au grand jour. Le jaune au contraire s'éclaircit et passe au blanc. Ce résultat est une conséquence immédiate de la constitution de la lumière artificielle d'une bougie, comparée à celle de la lumière blanche du soleil.

La lumière des bougies, du gaz et des lampes est jaune, elle renferme une plus forte proportion des rayons simples donnant, isolément ou en combinaison, le jaune, que de ceux d'où naît la sensation bleue. Or les premiers sont fortement absorbés par les substances bleues. Celles-ci paraîtront donc plus foncées; tandis que le jaune pâlit, parce que les espèces de lumières plus particulièrement absorbables par cette couleur, sont moins richement représentées dans la lumière d'une bougie. Ce sont précisément ces rayons qui, dans la lumière solaire, produisent l'opposition entre le jaune et le blanc, ce dernier renvoyant, en égales proportions, les rayons de diverses durées de vibrations.

Il existe des divergences analogues, quoique plus faibles, entre les différentes sortes d'éclairages artificiels ou naturels. L'éclairage varie suivant que le ciel est clair ou nuageux, suivant que la lumière est réfléchie par des parois blanches ou colorées. Toutes ces circonstances influent, non-seulement sur la détermination de la nature de la nuance, mais encore sur la clarté relative de deux nuances distinctes.

D'après les recherches de Purkinje, Dove et Helmholtz, la quantité aussi bien que la qualité de

la lumière incidente, agit sur la clarté relative des diverses couleurs. La clarté des couleurs dans lesquelles les lumières à durées de vibrations longues dominent, diminue plus rapidement avec l'éclairage que celle des couleurs à durées de vibrations courtes.

Ainsi, par exemple, étant donnés deux papiers colorés, l'un en rouge, l'autre en bleu et d'égales clartés en pleine lumière, le bleu paraîtra beaucoup plus clair sous une demi-obscurité. Helmholtz a fait des essais analogues avec deux couleurs simples, telles que les fournit un prisme de flint-glass, et il est arrivé au même résultat.

Soient deux faisceaux de lumière monochromatique, l'un jaune et l'autre violet, paraissant d'égale clarté, si nous les affaiblissons dans la même proportion, le violet sera toujours plus clair que le jaune. Helmholtz explique, par là, pourquoi avec un éclairage brillant et à la lumière solaire, toute la nature nous semble plus jaune, plus chaudement colorée, comme nous nous exprimons, que par un temps brumeux. En effet, sous l'influence d'un éclairage plus intense, les couleurs à vibrations longues augmentent relativement plus que les autres. Pour une raison analogue les paysages observés à travers un verre jaune clair, nous apparaissent comme éclairés par le soleil, tandis qu'avec un verre bleu nous éprouvons l'effet inverse. Il est beaucoup plus facile de comparer entre elles, d'une manière sûre, les couleurs d'une même nuance, et d'apprécier même, si

les conditions sont favorables, de très-faibles différences.

Le rapport entre notre jugement sur la clarté et la force objective de la lumière, c'est-à-dire la quantité de lumière envoyée à l'œil par l'unité de surface colorée, est très-compliqué. On n'a dirigé des recherches suivies, à ce point de vue, que pour la lumière blanche, et dans ce cas, même, on n'est pas encore arrivé à des lois bien certaines. Ce qu'il y a de vrai, c'est que la force de l'impression lumineuse ou la clarté subjective n'est pas directement proportionnelle à la clarté objective ; elle croît beaucoup plus lentement (1). Supposons une feuille de papier éclairée à une distance de 0^m,30 par deux bougies de stéarine, ajoutons deux nouvelles bougies, nous produirons par là une certaine augmentation de clarté.

Une nouvelle addition de deux bougies ne donnera plus la même différence. Pour atteindre l'effet réalisé par le passage de deux à quatre bougies, il faudra monter à huit.

L'accroissement dans l'énergie de la sensation se ralentit encore bien davantage, lorsqu'on dépasse les

(1) Voir sur ce sujet : G. Th. Fechner, *Psychophysik*. — Helmholtz, *Physiologische Optik*. — Aubert, *Physiologie der Netzhaut*; Breslau, 1865, et enfin le travail de Fechner : *Ueber die Frage des psychophysischen Grundgesetzes mit Rücksicht auf Aubert's Versuche* (Berichte der mathematisch-physikalischen Classe der Königl. Sächsischen Gesellschaft der Wissenschaften, 1864).

limites d'éclairage qui sont les plus favorables et les plus agréables pour distinguer les objets.

On atteint enfin un maximum de sensation qui ne peut plus être surpassé, quelle que soit l'augmentation dans la quantité de lumière. On sait aussi que la sensation n'augmente pas également, pour toutes les couleurs, avec l'intensité de la lumière. En éclairant deux portions d'une feuille de papier, l'une avec du jaune, l'autre avec du violet ; tous deux étant de même clarté, puis en doublant, triplant, quadruplant la quantité de chacune des deux lumières, le champ du jaune apparaîtra plus clair que celui du violet. Ce résultat était du reste à prévoir, d'après les expériences de Helmholtz indiquées plus haut. Nous nous expliquons ainsi pourquoi, de deux objets, de deux feuilles de papier, l'une rouge, l'autre bleue et d'égale clarté le jour, la rouge paraîtra plus foncée au crépuscule que la bleue. Un fait digne de remarque, c'est que, passé une certaine limite, à mesure que la quantité objective de lumière ou l'intensité de l'éclairage s'accroît, la saturation des couleurs se perd, elles deviennent blanchâtres, l'effet est plus marqué avec les couleurs composées des corps qu'avec les couleurs élémentaires du spectre.

Cette circonstance offre aux peintres un excellent moyen d'illusion. Les différences de clartés, offertes par les objets, sont généralement si grandes, qu'il serait difficile à l'artiste de les reproduire en réalité sur la toile ; tandis qu'en modifiant les qualités des couleurs dans les parties éclairées du tableau, comme

elles le sont en réalité dans le modèle, il arrive à masquer la pénurie de ses moyens d'action. Si l'intensité de l'objet à reproduire est trop grande, l'illusion disparaît ; ainsi dans la peinture du soleil, de la lune, des réflexions lumineuses sur des métaux polis, etc.

Aussi les peintres préfèrent-ils voiler le soleil et la lune avec des nuages et éclairer les surfaces fortement réfléchissantes avec de la lumière diffuse.

A une certaine époque de l'art, on se servait de l'or lui-même, au moins dans les parties vivement éclairées, pour imiter l'or, pour les auréoles des saints et le soleil. Lorsque la peinture marcha vers le point culminant de la perfection, on abandonna, avec raison, cette pratique ; car, d'un côté, l'emploi d'un métal si différent des autres couleurs dans ses propriétés optiques, nuit à l'unité, et d'un autre, le moyen est insuffisant ; la clarté de la couleur de l'or, ainsi appliqué, dépend uniquement de l'éclairage. En l'absence de réflexion, la couleur propre du métal ressort tout autrement que dans les objets réels, en or poli, et fortement éclairés. En somme, on perd plus en illusion qu'on ne gagne. De nos jours, on n'emploie plus de semblables artifices que dans la décoration des émaux et pour les objets d'un luxe interlope, lorsqu'il s'agit de produire, non un effet vrai, mais un effet brillant et criant.

Ainsi, dans les paysages clair de lune des boîtes à thé, des pupitres ou des cassettes, l'éclairage des vagues, d'une nappe d'eau, est indiqué par des in-

crustations en argent ; ou bien encore, le fond est argenté ou formé de nacre de perle. Si l'on trouve encore de l'or dans les peintures d'églises contemporaines, c'est plutôt comme imitation des œuvres anciennes que dans un autre but.

§ 4. — De l'intensité des couleurs.

Lorsqu'une couleur est à la fois saturée et claire, nous admettons qu'elle est intense. Pour le rouge ou le jaune, on dit aussi qu'elle a du feu. Cette dernière expression s'applique plus rarement aux autres couleurs. Nous avons vu que la saturation des couleurs d'un objet dépend de la proportion de lumière blanche mélangée à la lumière colorée qu'il réfléchit.

Tout dépend des proportions relatives de lumière colorée et de lumière blanche mélangées. Cette dernière doit s'y trouver en dose assez faible pour ne pas impressionner sensiblement notre œil. Ainsi, lorsque le blanc ne fait partie de la couleur qu'en quantités très-petites ou nulles, la dose de lumière colorée n'a pas besoin d'être très-grande, en valeur absolue, pour qu'il y ait saturation. L'intensité, au contraire, réclame une seconde condition. Une couleur intense doit produire sur nous un effet de saturation, et une impression lumineuse énergique. D'après cela, les pigments à couleur intense sont ceux qui, sous un éclairage moyen, réfléchissent une forte proportion de lumière, tellement caracté-

risée par sa couleur que le blanc y est à peu près insensible. En nous plaçant à ce point de vue, nous dirons que telle espèce de vermillon ou de jaune de chrôme est plus intense, a plus de feu qu'une autre. Le manque d'intensité dérive donc de deux causes; la quantité de lumière réfléchie est : 1° trop faible dans son ensemble; 2° elle renferme trop de lumière blanche.

Le premier cas se réalise pour les mauvaises qualités de vermillon, le second pour les espèces inférieures de jaune de chrôme. Si la lumière réfléchie est à la fois fortement délayée de blanc et peu abondante en général, la couleur sera d'une intensité très-faible.

Telles sont les couleurs que nous pouvons considérer comme mélangées à des doses assez fortes de gris, les couleurs lavées, sales, ou, quand il s'agit de couleurs claires, les mats en opposition avec les intenses. Les pigments les plus intenses se rencontrent parmi les jaunes; en effet, le jaune monochromatique est la plus intense des lumières élémentaires; de plus, le rouge et le vert qui dominent également dans le spectre donnent du jaune par leur superposition sur la rétine. Les pigments jaunes peuvent donc réfléchir simultanément du rouge, du jaune et du vert sans nuire à leur saturation; ils pourront être à la fois saturés et vifs comme un beau jaune de chrôme. Viennent ensuite les couleurs orangés et rouges, parmi lesquelles nous signalerons le minium et le vermillon. Les verts, et notamment les verts bleuâtres, sont en général moins intenses.

Dans le cas de la saturation, elles absorbent, en effet, une forte proportion des lumières les plus intenses du spectre. Il en est de même des pigments bleus et des violets, les lumières génératrices des impressions de cet ordre sont mal représentées dans la lumière blanche du soleil et plus mal encore dans celle d'une lampe. Les pigments pourpres sont d'autant plus intenses, qu'ils se rapprochent davantage du rouge. Car l'énergie des rayons rouges opère alors à leur bénéfice. Tel est le lien qui réunit les idées de clarté et d'obscurité que les peintres attachent depuis des siècles à certaines couleurs.

L'indigo est pour nous une couleur foncée, parce que le pigment-indigo se présente toujours avec ce caractère. L'orangé est, au contraire, une couleur claire, parce que nous sommes habitués aux orangés saturés et clairs. Cela est si vrai que, lorsque l'orangé devient foncé, nous lui donnons un autre nom, nous l'appelons *brun*.

La définition que nous venons de donner de l'intensité des couleurs, en nous plaçant au point de vue industriel et artistique, ne concorde pas avec celle des physiologistes. Ceux-ci considèrent comme d'égale intensité les couleurs qui, réunies simultanément sur une même place de la rétine, donnent le blanc et se neutralisent mutuellement, au point de vue chromatique. Deux semblables couleurs peuvent considérablement différer dans leur état de saturation et offrir, par conséquent, une grande inégalité dans l'intensité prise au point de vue artistique.

Nous étudions dans le paragraphe suivant les conditions de ce phénomène nouveau.

§ 5. — Des couleurs complémentaires.

Nous avons vu, au § 1, que les lumières, réfléchies par les divers pigments colorés, se composent des mêmes éléments que le blanc, mais mélangés dans d'autres proportions. D'après cela, une couleur quelconque peut être dérivée du blanc par l'élimination d'une autre couleur. La couleur ainsi soustraite, qu'elle soit ou non élémentaire, reproduira le blanc, si on l'ajoute au reste.

Deux couleurs offrant un semblable rapport et qui projetées, en même temps, sur la même place de la rétine, donnent la sensation du blanc, sont appelées complémentaires; elles se complètent l'une l'autre dans la synthèse du blanc. Les deux compléments ont donc la même énergie physiologique, mais ils peuvent différer, très-notablement, dans leur intensité, en donnant à ce terme l'acception adoptée dans cet ouvrage.

Soit de la lumière blanche suffisamment intense, enlevons-lui une fraction de lumière monochromatique, une partie de rouge, par exemple; cette couleur soustraite sera intense, tandis que le reste paraît vert-bleu pâle, à cause de la forte proportion de blanc qu'il contient. Nous verrons, tout à l'heure, comment on peut tirer parti des phénomènes de polarisation pour produire des paires de couleurs complémen-

taires. En utilisant ce procédé, on arrive à des groupes formés de couleurs d'intensité très-différente, la lumière blanche étant partagée d'une manière très-inégale.

L'étude des compléments est d'une haute importance dans la pratique, et nous insisterons sur ce point. Nous savons déjà (voir § 2) que du spectre solaire, ou encore des lumières réfléchies par les divers corps colorés, on peut isoler des paires formées de deux lumières monochromatiques qui, réunies, donnent l'impression du blanc.

Ce sont :

Le rouge et le vert-bleu. L'orangé et le bleu-vert. Le jaune et le bleu d'outremer. Le jaune-vert et le violet. D'après notre définition, ces couleurs simples sont complémentaires. Les couleurs composées se comportent, au point de vue de la teinte de leurs complémentaires, comme les couleurs simples. Nous aurions donc à dresser pour elles un tableau tout à fait pareil.

Le vert seul n'a pas de complément simple; pour la neutralisation, il réclame le pourpre (§ 1) qui est composé. Les indications précédentes ne sont pas assez rigoureuses en pratique.

Étant donnée une couleur, nous devons pouvoir déterminer avec certitude sa complémentaire, tant sous le rapport de la teinte que sous celui de la clarté et de la saturation. Nous devons être sûrs d'avance que la couleur choisie, projetée avec la pri-

mitive sur la même surface de la rétine, donnera la sensation du blanc.

La méthode la plus sûre, pour pénétrer plus avant dans la connaissance des compléments, consiste à se former une série de paires de couleurs complémentaires, avec le secours de la polarisation (1).

On peut employer, à cet effet, plusieurs espèces d'instruments. Je vais donner la description de l'un d'eux, construit spécialement en vue du but que nous poursuivons.

Aidée du secours d'un dessin, notre description sera assez-claire, pour permettre à chaque fabricant d'appareils optiques de le reproduire.

Je donne à cet appareil le nom de *schistoscope*, parce qu'il est destiné à partager en deux, soit la lumière blanche, soit la lumière colorée non homogène. Le schistoscope (fig. 5) se compose du support vertical *abc*, auquel sont fixés, en allant de bas en haut :

1° La tablette *de* destinée à supporter l'objet qui réfléchit la lumière à partager. Veut-on opérer sur la lumière blanche, on se servira avec avantage d'une feuille de papier blanc, opaque, ou mieux d'une carte de visite lustrée. La tablette est mobile au moyen du bouton *e*, autour de l'axe *de*.

L'appareil étant placé près d'une fenêtre et paral-

(1) La connaissance des phénomènes de polarisation n'est pas indispensable à l'artisan dans l'étude des couleurs qu'il emploie. Nous pourrions donc passer sous silence la description et la théorie de ces phénomènes, d'autant plus qu'on les trouve en détail dans tous les traités de physique.

lément avec elle, on augmente ou on diminue l'éclairage en inclinant la planchette dans l'un ou l'autre sens.

2° La tablette noircie *fg*, offrant, pour le passage

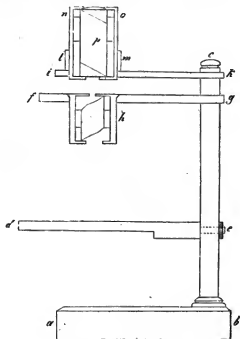


Fig. 5. — Schistoscope de Brücke.

de la lumière, un orifice carré de 0^m,002 de côté, au-dessous duquel est fixé un prisme de Nicol *h*.

3° Enfin le bras *ik*, muni d'un anneau à ressort *lm*. Dans cet anneau est maintenu un oculaire ou plutôt un analyseur dont les dispositions se rapprochent

beaucoup de celles de la loupe dichroscopique de Haidinger. Il se compose d'un rhomboïde de spath d'Islande p , dont les faces sont parallèles au plan de clivage du cristal et sur lesquelles sont collés, en haut et en bas, des prismes en verre d'un angle de 18° . Cet ensemble constitue un bloc à faces, d'entrée et de sortie, parallèles, horizontales. Immédiatement sur la face de sortie est fixée une lentille convexe. Le foyer de cette lentille oculaire est calculé de telle façon, qu'à la distance visuelle normale, les deux images de l'orifice carré de fg se juxtaposent exactement. Il faut, de plus, que l'espace libre entre fg et ik soit assez large pour permettre la facile introduction de plaques en verre d'une épaisseur de $0^m,002$ à $0^m,004$.

L'usage de cet instrument réclame encore un choix de plaques transparentes de sulfate de chaux naturel, cristallisé (gypse), de diverses épaisseurs. On clive, à cet effet, un cristal, aussi incolore que possible. Les feuilles sont placées entre deux lames de verre incolore et assujetties avec du vernis de Dammar.

On peut se servir, comme supports, des verres porte-objets du microscope et recouvrir la lame de gypse avec la mince lame de verre usitée dans les travaux micrographiques.

Il est bon de préparer, d'avance, une suffisante quantité de feuilles de sulfate de chaux, afin de pouvoir produire successivement et rapidement un grand nombre de couples complémentaires. Le mica, s'il n'est pas trop coloré, est susceptible de remplacer

le gypse ; dans le cas contraire, l'altération des nuances serait trop manifeste. Le mica offre l'inconvénient de contenir souvent de l'air entre ses feuillets, air qui produit des bulles gênantes. On élimine cette cause d'insuccès par une ébullition dans l'essence de térébenthine et un refroidissement opéré au sein du liquide.

Pour se servir du schistoscope, et produire des couples complémentaires, il suffit de faire glisser l'oculaire *mn* dans l'anneau *lm*, jusqu'à ce que les deux images de l'orifice carré de *gf* apparaissent nettement ; on tourne ensuite l'appareil *nop* autour de son axe vertical, dans une position telle que l'une des images ait le maximum d'éclat et que l'autre soit éteinte. L'instrument est alors prêt pour toutes les expériences faites par une même personne ou par des observateurs de même longueur de vue. On place les feuilles de gypse, l'une après l'autre, sur l'orifice de la tablette *fg*, en les tournant autour de la verticale, pour chercher les couleurs les plus saturées. Dans ce cas, les deux images de l'orifice apparaissent colorées, chacune de la complémentaire de l'autre, et l'on obtient facilement des couples de couleurs exactement complémentaires, et d'une beauté remarquable.

Cette manière de procéder constitue la meilleure école et le moyen le plus convenable pour acquérir un jugement prompt et exercé sur l'association des couleurs complémentaires. Elle peut encore servir à la recherche du complément de la nuance d'un corps ou d'un pigment. On essaye au schisto-

scope une série de plaques de gypse, jusqu'à ce que l'on ait mis la main sur celle qui fournit, pour l'une des images, la couleur donnée ; celle de l'image voisine représentera, mathématiquement, la complémentaire.

A défaut de schistoscope, et dans les cas où celui-ci ne mène pas au but cherché, on aura recours à d'autres procédés.

L'un d'eux est fondé sur la méthode proposée par Dove pour mélanger les couleurs sur la rétine. Un objet vu à travers un prisme biréfringent paraissant double, il n'est pas difficile de disposer, sur un fond noir, deux morceaux de tissu ou de papier colorés, à des distances telles que deux des quatre images se superposent dans le champ visuel et viennent, par conséquent, se peindre sur la même place de la rétine, en mélangeant leurs impressions. Une des couleurs étant donnée comme constante, il suffira de faire varier l'autre jusqu'à ce que les deux images fusionnées produisent l'impression du blanc ou du gris neutre. La complémentaire sera donnée par là.

On peut aussi tirer parti de la méthode imaginée par Lambert pour mélanger les couleurs sur la rétine.

Soit (fig. 6) une plaque de verre aussi incolore que possible, disposons-la verticalement, et regardons obliquement à travers cette glace l'objet coloré *a*, l'œil étant placé comme l'indique la figure ; en même temps, mettons en *b* la couleur dont on veut ajouter l'effet à celui de la première. Cette dernière sera vue par réflexion sur la surface polie du verre et les deux images

pourront se superposer sur la rétine. En rapprochant plus ou moins les objets *a* et *b* de la plaque, et en inclinant celle-ci plus ou moins, soit à droite soit à gauche, on peut augmenter ou diminuer l'intensité

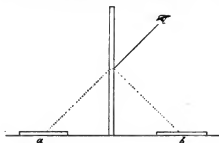


Fig 6. — Méthode de Lambert pour mélanger les couleurs sur la rétine.

lumineuse de l'une ou de l'autre couleur; enfin, en variant la nature de la couleur *b*, on finira par trouver la nuance qui, ajoutée à *a*, donne du blanc ou un gris neutre. C'est le complément cherché, au moins quant à la teinte. Ainsi, si l'une des couleurs est de l'outremer, la seconde sera du jaune qui n'incline trop ni vers le vert, ni vers l'orangé. Mais la couleur trouvée ne sera pas nécessairement complémentaire quant à l'intensité physiologique. Ce dernier cas n'est réalisé que si, ajoutée à *a*, elle donne du blanc, lorsque les objets *a* et *b* émettent à l'essai précédent, et envoient à la rétine, des fractions égales de leur lumière.

La toupie chromatique, disposée d'après les indications de Maxwell, est également apte à résoudre le problème (fig. 7, 8, 9).

44 DES COULEURS ET DE LEUR GÉNÉRATION.

Les couleurs soumises à l'expérience sont portées sur des disques en papier, de dimensions un peu moindres que celles du disque de la toupie, et pré-

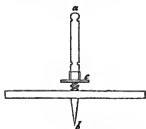


Fig. 7. — Toupie chromatique de Maxwell.

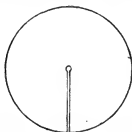


Fig. 8. — Disque de papier présentant une fente découpée.

sentant une fente découpée, comme le montre la figure 8. On en glisse trois le long de la tige *ab* (fig. 7),

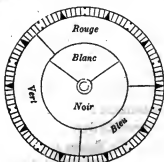


Fig. 9. — Superposition des disques.

l'un rouge, l'autre bleu et le troisième vert, de telle façon qu'une fraction de chacun d'eux reste visible. On superpose ensuite deux disques plus petits, un blanc et un noir; le tout, vu d'en haut, présente l'apparence de la figure 9. Les feuilles

sont fixées dans une position invariable au moyen d'un écrou mobile *c* (fig. 7), tournant autour d'un pas de vis qui termine la tige au-dessus du disque. On met la toupie en mouvement au moyen d'une

corde et par le procédé ordinaire bien connu. Suivant la teinte apparente, on modifie, par tâtonnements, la disposition primitive des disques colorés, jusqu'à ce que l'anneau extérieur soit gris.

Enfin, il ne reste plus qu'à varier les rapports de superficie entre le blanc et le noir des disques centraux pour amener à l'égalité la clarté des deux anneaux.

On juge très-bien ainsi de la nature du gris engendré par le mélange et l'on s'assure s'il est réellement neutre, comme celui qui résulte de la superposition du blanc et du noir, ou non. Dans le dernier cas, on corrige par tâtonnements. •

Tout étant disposé ainsi, on voit sur le cercle externe (fig. 9), divisé en 100 parties égales, dans quelle proportion les couleurs employées entrent dans la composition du gris. Rien n'est plus facile maintenant que de calculer le complément de chacune. Supposons, par exemple, que 37 parties de vermillon, 27 d'outremer et 36 de vert émeraude forment du gris. Veut-on le complément du rouge-vermillon, on saura que le bleu outremer et le vert émeraude s'y trouvent dans les rapports de 27 à 36. On divise 100 dans le rapport de 27 à 36, on couvre ces deux parts du disque, l'une avec du bleu d'outremer, l'autre avec du vert émeraude, après avoir préalablement enlevé le rouge, et l'on fait tourner la toupie; la couleur engendrée ainsi sera la complémentaire du vermillon. En négligeant les fractions, le partage du cercle se fait dans la proportion de

43° à 57°. Ainsi la toupie chromatique fournit la couleur complémentaire du vermillon, si l'on a disposé les disques bleu outremer et vert-émeraude, de façon à laisser libres $\frac{53}{100}$ de la première et $\frac{47}{100}$ de l'autre. Ce résultat est facile à atteindre, vu la division centésimale du cercle. En comparant directement avec la couleur obtenue, un papier ou un tissu que l'on veut employer comme complément du vermillon, on s'assure s'il remplit ou non cette condition. Cette expérience apprend, en outre, de combien le vert-bleu manque d'intensité physiologique pour être le complément vrai du vermillon. Parties égales (en surface) de vermillon et de son complémentaire vrai doivent donner du gris. L'expérience nous conduisant aux nombres, 37 de vermillon et 63 de la couleur qui engendre avec lui le gris, il est clair que l'intensité physiologique de cette dernière est à celle du vrai complément comme 37 est à 63. Pour arriver à des couleurs suffisamment saturées, il convient d'avoir à sa disposition une grande quantité de papiers colorés. On obtiendra, avec la toupie chromatique, une couleur d'autant moins saturée que ses deux éléments constitutifs sont plus éloignés par leur teinte. Il faut donc chercher, dans l'essai final, à faire usage de deux couleurs aussi rapprochées que possible.

S'agit-il, par exemple, de déterminer la complémentaire du bleu d'outremer, ce n'est pas au rouge et au vert que l'on aura recours, comme dans l'expérience ci-dessus décrite. On sait d'avance que le

complément se trouve dans la zone jaune du spectre. On prendra donc deux disques jaunes, l'un qui tire à l'orangé, et l'autre au vert, et on les associera au bleu d'outremer, en variant les rapports, pour atteindre le gris neutre. On aura ainsi, après élimination du bleu, deux jaunes occupant ensemble toute la surface du cercle et fournissant par leur superposition une couleur convenablement saturée.

La toupie se remplace avec avantage par un disque vertical fixé sur un axe horizontal, mis en mouvement au moyen d'une corde et d'une manivelle. Le mouvement doit être assez rapide pour faire disparaître la moindre inégalité de teinte du plateau circulaire. Tant qu'on n'a pas atteint cette limite, les résultats sont incertains; en effet, un changement successif, mais trop lent, dans les couleurs peintes sur la rétine, provoque des apparences perturbatrices dont l'étude n'est pas du domaine de cet ouvrage (1).

On peut aussi mettre la toupie sur un pied fixe, qui permet d'exposer sa surface perpendiculairement à l'action de la lumière incidente, et réunir ainsi, jusqu'à un certain point, les avantages de l'une ou de l'autre disposition.

Jusqu'à présent, nous avons supposé, pour plus de simplicité, qu'une couleur n'a toujours qu'un complément unique et nous avons cherché les moyens

(1) Brücke, *Ueber den Nutzeffekt intermittirender Netzhautreizungen*. (Sitzungsberichte der K. Akademie der Wissenschaften mathematisch-naturwissenschaftliche Classe. T. XLIX, partie 2, page 128.)

de le déterminer par expérience. Cette unité est sujette à restriction.

Il est évident que blanc + blanc = blanc.

Je suppose une lumière blanche, divisée en deux compléments colorés, le vert-bleu et le rouge, par exemple. Le rouge est certainement le complément du vert-bleu. J'ajoute à ce rouge une nouvelle proportion de blanc, j'obtiens par là un rouge plus clair qui sera le complément du vert-bleu précédent, puisqu'il doit forcément donner du blanc avec son concours. En continuant ainsi progressivement les additions de blanc, je forme toute une série de rouges de plus en plus clairs, de plus en plus lavés, mais qui n'en restent pas moins complémentaires du vert-bleu. Tous les membres de cette série doivent posséder la même nuance, puisqu'ils dérivent de la même couleur, plus ou moins lavée de blanc.

L'expérience apprend, cependant, que certaines couleurs se modifient par là si profondément que l'on ne peut plus reconnaître leur teinte primitive.

Tel est le bleu d'outremer; il passe au violet par addition de blanc, comme le démontrent les expériences suivantes.

Soit un plateau rotatif, blanc, divisé en 360°; peignons-y un segment de 60° en bleu d'outremer; en faisant tourner, nous verrons le disque coloré, non en bleu clair, mais en violet (1).

Mêle-t-on sur la rétine, par le procédé Lambert

(1) Aubert, *Physiologie der Netzhaut*; Breslau, 1865, p. 136.

(fig. 6), de l'outremer et du blanc, fourni par les pigments blancs les plus purs, on éprouve la sensation du violet.

Autre essai : on applique très-près de l'œil un verre coloré en bleu foncé, le bord libre partageant la pupille en deux parties égales, et on regarde une nuée blanche. Ce bord s'efface à peu près complètement, à cause de sa proximité de l'œil. Les rayons lumineux qui ont traversé le verre dans son voisinage, et ceux qui ne font que le raser se confondent sur la rétine, et l'on perçoit une auréole violette parallèle à ce bord ; elle est le résultat du mélange de bleu et de blanc.

En disposant un verre bleu foncé sur un fond blanc, de manière à ce que le premier projette son ombre sur le second, on voit, à la lumière diffuse, une ombre bleue et une pénombre violette.

De semblables modifications s'observent, bien que d'une manière moins marquée, avec d'autres couleurs. Ainsi un verre jaune d'or foncé, employé dans les mêmes conditions que le bleu, fournit une auréole ou une pénombre d'un jaune manifestement rougeâtre.

Le jaune de chrome mélangé au blanc, par le procédé Lambert, donne un jaune orangé très-clair.

Les miniums offrent également, dans les mêmes circonstances, cette tendance à virer au rouge, mais elle est moins évidente que pour le jaune de chrome. Quant au rouge et au vert, ils ne font que pâlir par addition de blanc, sans changer de nuance. Le vert-

bleu a donc, dans tous les cas, le même rouge comme complément; en d'autres termes, les complémentaires du vert-bleu forment une série constituée par la même couleur rouge, rendue de plus en plus pâle (1). De même, tous les compléments d'un rouge donné appartiennent à la même espèce de vert-bleu, et ne diffèrent que par la clarté.

Il n'en est pas de même du jaune et du bleu.

Le jaune de chrome ordinaire (pâle) a pour complément saturé le bleu d'outremer, ou une couleur très-voisine, placée du côté du bleu vert. Mais à mesure que la saturation du complément diminue, celui-ci passe au bleu violet, et enfin au lilas.

Le bleu cyanique est complété par le jaune d'or, si son complément est saturé, ou par un orangé pâle s'il l'est moins.

D'après la marche générale de ces phénomènes, on peut dire : La lumière que nous appelons blanche se comporte, lorsqu'on la mélange avec des lumières colorées, pour produire une impression simultanée sur la rétine, comme si, au lieu d'être tout à fait blanche, elle contenait un excès de rouge. En appelant surfaces blanches, celles qui réfléchissent

(1) Ces données ne sont exactes que pour la lumière du jour. Je prends, en effet, comme lumières naturelles celles qu'elle fournit en plein midi avec un ciel couvert. A la lumière artificielle du gaz ou d'une lampe, lumière qui est jaune, on trouve aussi que le rouge et le vert sont des couleurs sensibles, lorsqu'on les soumet aux expériences précédentes. Les teintes obtenues par le mélange du blanc sont plus jaunâtres qu'elles ne le seraient le jour, pour les tons inférieurs de ces nuances.

la lumière du jour sans changements chromatiques, nous devons admettre que la lumière diffuse du jour est rougeâtre (1).

De ce que nous la considérons généralement comme blanche, il ne découle pas qu'elle est réellement incolore, car nous avons une tendance prononcée à appeler blanche la lumière dominante. Ainsi, si nous nous servons longtemps d'une lunette d'un vert pâle, nous finissons par considérer comme blancs les objets que nous voyions tels avec un œil dépourvu d'auxiliaire (2).

Il convient ici de fixer notre attention sur une cir-

(1) Voir mon travail sur les couleurs complémentaires et les couleurs de contraste : *Sitzungsberichte der k. Academie der Wissenschaften, mathematisch-naturwissenschaftliche Classe* ; t. LII, 2^e part., p. 461.

(2) Les considérations suivantes feront comprendre comment le rouge, qui domine dans la lumière du jour et qui échappe alors à notre observation, peut devenir sensible par le mélange du bleu avec la lumière blanche. Soit (fig. 10) un disque ab muni d'une tige verticale fixe cd , suspendue en d (le système n'aura, comme point fixe, que le point d). Admettons, de plus, que le disque et sa tige ne sont pas sollicités par la pesanteur. Suspendons autour de ce disque des poids proportionnels à la clarté des diverses lumières élémentaires, et disposés de façon que le plateau soit tenu horizontalement, dans le cas où les lumières diamétralement opposées se neutralisent et forment du blanc pur. Si nous changeons les poids pour les rendre proportionnels aux clartés des lumières qui composent la lumière du jour ou la

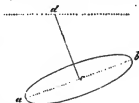


Fig. 10. — Disque pour rendre sensible le rouge par le mélange du bleu et de la lumière blanche.

constance que nous n'avons pas signalée jusqu'à présent.

La lumière qui arrive au fond de notre œil ne pénètre pas toute à travers la pupille seulement. La sclérotique (cornée opaque, qui ne l'est pas autant que son nom semble l'indiquer) et le tissu vasculaire, sous-jacent, en laissent filtrer une certaine dose. Cette lumière se colore en rouge par son passage à travers les membranes de l'œil. Elle ne produit pas d'effet utile dans l'acte de la vision; elle est répandue d'une manière diffuse sur la rétine et diminue, en raison de sa couleur, la sensibilité de la rétine pour le rouge.

soit-disant lumière blanche, le plateau ne restera plus horizontal; il inclinera du côté du rouge.

Cette tendance au rouge n'est plus sensible pour nous; elle est devenue partie intégrante et inamovible de l'excitation du nerf optique et de nos perceptions. Si nous doublons, triplons, etc., les poids suspendus autour du plateau, celui-ci ne changera pas de position, vu qu'il n'a pas de poids. C'est le cas où l'on ajoute du blanc à du blanc. L'effet total sera encore blanc. Considérons, au contraire, le cas où l'on ajoute du blanc à du bleu. Les poids resteront en place, mais leur grandeur sera modifiée de façon que le plateau incline fortement vers le bleu. La couleur est bleue. Ajoutons à ce moment de nouveaux poids proportionnels aux clartés relatives des lumières composant la lumière du jour, dite blanche. Ceux-ci produiraient à eux seuls une légère inclinaison vers le rouge, nullement comparable en intensité à l'inclinaison primitive, car nous avons supposé le bleu saturé. Il résulte du concours simultané de ces deux forces, l'une intense, l'autre très-faible, d'une part que le disque inclinera moins vers le bleu, la couleur sera plus claire. D'un autre côté, l'inclinaison sera moins franchement du côté du bleu, mais intermédiaire entre le bleu et le rouge, plus près du premier que du second. La couleur lavée avec du blanc de jour sera donc violette.

Si je me place en face d'une fenêtre, de façon que la lumière tombe sur moi en venant de la gauche, et si pendant que je fixe un papier blanc je ferme alternativement l'œil droit et l'œil gauche, le papier paraît verdâtre avec l'œil gauche et rougeâtre avec le droit. En effet, l'œil gauche exposé à la lumière extérieure laisse passer beaucoup plus de lumière à travers la sclérotique, que l'œil droit.

Cette lumière scléroticale est évidemment une cause de trouble et d'erreur. Je dois donc accorder plus de confiance à l'œil droit qu'au gauche et admettre que la lumière du jour réfléchiée sur le papier est rougeâtre.

La lumière directe du soleil nous paraît jaunâtre, et non rougeâtre. Cette différence dépend de l'intensité. Le rouge monochromatique, à mesure que son intensité augmente, nous paraît rouge-jaunâtre, puis blanc-jaunâtre. On comprend, d'après cela, comment l'apparence rougeâtre de la lumière diffuse se change en jaune, sous l'influence d'une lumière plus éclatante.

Les peintres admettent, généralement, que la lumière diffuse du jour est bleutée, parce qu'elle nous apparaît telle, en comparaison avec celle d'une lampe, et parce que l'on se sert de teintes bleutées pour reproduire les effets de lumière aérienne. Ce bleu est relatif; comparé à la lumière d'une lampe, il nous semble bleu parce que celle-ci est très-jaune. Les lumières aériennes sont bleues, pour nous, parce qu'elles sont réfléchies par le ciel bleu et parce qu'on

les compare soit avec la lumière jaunâtre des rayons directs, ou avec les lumières réfléchies par les objets terrestres qui ne sont pas bleus.

La teinte rougeâtre de la lumière du jour n'a, en général, pas d'influence sur la reproduction des objets en peinture, car cette même lumière éclaire à la fois les objets et leur image. Nos couleurs blanches sont en définitive des corps qui réfléchissent la lumière du jour avec le moins d'altération.

D'un autre côté, nous considérons les objets naturels et leurs images, avec le même œil modifié par la lumière scléroticale rouge, et dans les deux cas nous n'avons pas conscience de cette prédominance du rouge. Cependant dans le mélange des couleurs avec lesquelles nous cherchons à imiter la nature, nous observons des phénomènes qui nous rappellent que la lumière du jour n'est pas tout à fait blanche.

§ 6. — Système des couleurs.

Je chercherai, dans ce chapitre, à grouper systématiquement les couleurs *pigmentaires*, en prenant cette expression dans sa plus large acception. Nous entendons par là, non-seulement les couleurs susceptibles d'être reproduites par nos pigments, mais encore celles que nous pouvons espérer reproduire un jour, grâce aux progrès de la chimie.

Portons les couleurs élémentaires sur un cercle, dans leur ordre de succession spectrale, en opposant diamétralement les compléments respectifs; nous

construirons ainsi le cercle chromatique (fig. 11). Nous laissons provisoirement indéterminée la valeur

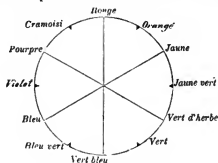


Fig. 11. — Cercle chromatique.

des angles mesurés par l'intervalle d'une couleur à l'autre.

Ce cercle peut être simplifié comme le montre la figure 12. Il me resterait alors à intercaler entre le

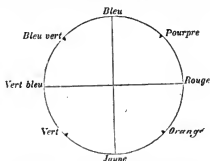


Fig. 12. — Cercle chromatique simplifié.

bleu et le pourpre-violet, et entre le jaune et le vert, le complément du violet, le jaune-vert (1).

(1) Tous les cercles chromatiques, construits dans les divers

Ceci posé, prenons ce cercle comme équateur d'une sphère; mettons à l'un des pôles (fig. 13) le

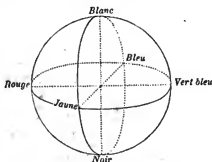


Fig. 13. — Sphère chromatique.

blanc, au pôle opposé le noir, et disposons sur sa surface les diverses dégradations entre la couleur sa-

traités des couleurs, reproduisent le même défaut : la couleur opposée à l'outremer est trop orangée, sa teinte n'est pas assez jaune; de plus le vert correspondant au rouge spectral devrait incliner davantage vers le vert bleu. Cette observation s'applique également au cercle chromatique de Chevreul (*Exposé d'un moyen de définir et de nommer les couleurs, d'après une méthode précise et expérimentale*. Paris, 1861. *Mém. de l'Institut, Académie des sciences*, t. XXXIII, et *Des couleurs au point de vue de leurs applications aux arts industriels*. Paris, 1864). Ce cercle si bien exécuté, surtout au point de vue de la dégradation des teintes, est divisé en soixante-douze couleurs. L'erreur dans la position du vert réellement complémentaire du rouge est d'environ quatre couleurs, soit la $\frac{1}{18}$ partie du cercle, celle dans les positions respectives du jaune et du bleu d'outremer peut être évaluée, en tenant compte de l'état de saturation des couleurs franches, à $\frac{1}{8}$ du cercle. Quant aux couleurs qui correspondent aux miniums et aux bleus verdâtres opposés, elles sont convenablement disposées. Avec ces rectifications, le lecteur sera à même de trouver les couleurs réellement complémentaires et de les op-

turée et le blanc d'une part et cette même couleur saturée et le noir de l'autre. Nous formons ainsi les dégradations de tons, que l'on distingue sous le nom de *couleurs pures*, lesquelles ne renferment pas de gris.

Tous les représentants d'une même nuance sont disposés sur un seul et même méridien. L'axe vertical contient, en allant du blanc au noir toutes les dégradations du gris neutre ou normal. Ainsi, le corps de la sphère renferme, si nous supposons la

poser diamétralement dans le cercle de M. Chevreul, dont l'usage ne peut que se répandre, grâce au fini de l'exécution.

Certains cercles chromatiques ont été construits sans aucunes notions physiologiques et optiques et par le simple mélange des pigments colorés. On inscrit un triangle équilatéral dans la circonférence, on dispose le rouge, le bleu et le jaune aux trois sommets, puis on place les couleurs résultant du mélange de ces trois, prises deux à deux, dans les arcs sous-tendus par les côtés du triangle, de façon à opposer diamétralement celles dont la combinaison produit une teinte foncée, neutre, semblable à celle d'un lavis à l'encre de Chine (fig. 14). Par le mélange des trois couleurs dites *primitives*, c'est-à-dire du rouge, du bleu et du jaune appliqués sur papier blanc, l'aquarelliste peut produire tous les effets désirables ; il en résulte que de semblables cercles ne manquent pas d'intérêt pour lui, mais ils n'ont aucune valeur dans l'étude physico-physiologique des couleurs.

Lambert composait déjà toutes les teintes y compris le noir, avec le secours des trois primitives, plus le blanc qui servait de



Fig. 14. — Cercle chromatique.

transition graduelle d'une couleur à l'autre, toutes les nuances intermédiaires entre le gris normal et les couleurs pures. Cette sphère a été construite et peinte pour la première fois par le peintre Philippe Otto Runge (1). Avant lui, Lambert avait groupé les couleurs d'une manière tout aussi complète, dans une pyramide.

La construction de Runge est très-incomplète, mais ce défaut doit être mis, moins sur le compte de l'auteur et sur une connaissance insuffisante de la question, que sur celui d'une pénurie des couleurs nécessaires pour réaliser industriellement un semblable travail.

La sphère, comparée à la pyramide de Lambert,

fond. Prangen dit avoir connu un peintre néerlandais qui, sur la commande de ses compatriotes, copia, en couleurs à l'eau, des tableaux renommés des galeries allemandes, en se servant uniquement de carmin, de bleu de Prusse, de gomme gutte et d'encre de Chine.

Sans aucun doute le secours d'autres couleurs est utile pour former des nuances belles et intenses, mais il est toujours possible de combiner les trois couleurs susmentionnées, de manière à produire un résultat connu. Doit-on peindre avec peu ou beaucoup de couleurs? Cette question est discutée depuis longtemps et se trouve déjà posée par Field (*Chromatographie*, édit. allem. Weimar, 1836). Nous apprendrons à connaître aux §§ 7 et 14, les raisons pour lesquelles le mélange des couleurs produit un autre effet sur la palette du peintre que sur la rétine. On doit conclure nécessairement de là, qu'un système des couleurs fondé sur les effets du mélange des pigments colorés, ne peut être utilisé dans les considérations physiologiques et esthétiques.

(1) *Die Farben Kugel oder Construction des Verhältnisses aller Mischungen der Farben zu einander und ihrer vollständigen Affinität*. Hamburg, 1810.

n'offre pas d'avantages bien marqués. On pourrait aussi bien faire usage d'un ellipsoïde, d'un cône, d'un fuseau ou, comme Doppler, d'un octant sphérique (partie d'une sphère divisée en huit parties égales). Tout dépend de l'idée que l'on se fait de la distance des couleurs saturées pures, au blanc et au noir. Comme aucune de ces dispositions ne présente de raison d'être spéciale, en tant qu'il s'agit de couleurs pigmentaires en général, et non de quelques-unes d'elles en particulier, j'ai adopté la sphère, et cela pour les raisons suivantes :

1° La sphère ne présuppose la prédominance d'aucune des couleurs pures.

2° Toutes les paires de complément s'y trouvent dans des rapports analogues.

3° On s'oriente facilement sur la sphère, en lui appliquant la nomenclature de la sphère terrestre.

Ainsi tout le monde me comprendra, quand je parlerai de l'équateur, des méridiens, des grands cercles, des pôles (blanc et noir), de l'axe.

Poussons donc plus loin l'examen de notre sphère, et basons notre nomenclature sur cette donnée.

Toute couleur, avons-nous vu, peut être considérée comme la réunion d'une couleur saturée et d'un gris plus ou moins clair ou plus ou moins foncé (y compris le blanc et le noir, voir au § 2). J'appelle *teinte* cette couleur saturée. Toutes les couleurs situées sur un plan de section de la sphère, allant d'un méridien jusqu'à l'axe, pas au delà, appartiendront à la même teinte. Ainsi nous trouvons le bleu outre-

mer en un point de l'équateur; par ce point passe un méridien. Je dirige ma section de façon à y confondre ce méridien, l'axe formant la limite. Le demi-cercle compris entre l'axe d'une part, et le demi-méridien passant par le bleu outremer, de l'autre, renfermera toutes les couleurs qui ont la teinte de l'outremer et n'en contiendra pas d'autres.

Le plan d'une pareille section est un plan méridien.

Le plan méridien pour nous ne représente donc qu'un demi-plan méridien terrestre.

Supposons la sphère composée d'une série continue d'ellipsoïdes de révolution, engendrés par la

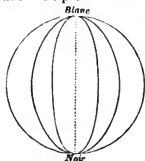


Fig. 13. — Sphère composée d'ellipsoïdes.

rotation d'ellipses autour de l'axe commun (B. N., fig. 15).

L'ellipse externe est un cercle qui engendre la sphère.

Mon plan méridien coupe évidemment tous ces ellipsoïdes. Les couleurs de ce plan qui correspondent à une même

surface ellipsoïdale fourniront pour moi une *nuance*. Cette définition de la nuance se confond avec le sens qu'attachent les brodeuses à ce terme.

Elles disent, en effet, une série de laines ou de soies nuancées, pour indiquer toutes les dégradations de tons d'une même couleur. On voit facilement que

chacune de ces nuances possède non-seulement une teinte propre, mais encore un degré déterminé de saturation.

Pour chaque demi-ellipse de section, la couleur équatoriale est placée entre deux couleurs de même teinte, l'une plus saturée, celle du dehors, l'autre moins, celle du dedans.

On comprendra facilement ma pensée lorsque je dirai, en parlant de deux couleurs, qu'elles ont la même teinte, mais qu'elles ne sont pas également nuancées.

Je n'entendrai pas avancer par là, que l'une est plus claire que l'autre, car dans ce cas elles se trouveraient à des distances inégales de l'un ou l'autre pôle, mais que tout en appartenant au même plan méridien, on doit les chercher sur des ellipsoïdes différents.

Dans chaque nuance je distingue divers degrés de clarté. En me servant d'une expression usitée, quoique défectueuse, je dis que pour une même nuance nous avons des *tons* plus ou moins clairs. De cette manière, la place d'une couleur dans la sphère est parfaitement fixée. La teinte détermine le plan méridien; la nuance ou degré de saturation conduit à la connaissance de la demi-ellipse de section; enfin le degré de clarté marque sa vraie position sur cette demi-ellipse dont la rotation engendre l'ellipsoïde.

Supposons toutes les couleurs de même clarté, disposées de façon que leurs distances (distances

mesurées en ligne droite) au pôle blanc, divisées par celles au pôle noir, donnent toujours le même quotient. Pour le plan équatorial, ce quotient est l'unité, et le gris du centre aura la même clarté que les couleurs saturées de l'équateur.

Ne nous dissimulons cependant pas, que notre système soulève bien des objections. En premier lieu, il repose sur l'emploi d'un cercle chromatique dans lequel, il est vrai, les compléments sont directement opposés, mais où le nombre de degrés séparant les couleurs choisies arbitrairement; en second lieu on peut facilement introduire, par la pensée, toutes les couleurs pigmentaires dans la sphère, mais s'il s'agissait d'en réaliser l'exécution, ne fût-ce que pour les couleurs les plus importantes, telles que vermillon, jaune de Naples, outremer, etc., nous reculerions épouvantés. Nous ne possédons pas, en effet, les moyens d'exécuter les mesures nécessaires.

Quant au premier point, Newton partage le cercle entre les sept couleurs élémentaires du spectre d'après les rapports des notes de la gamme, $1/9$, $1/10$, $1/16$, $1/9$, $1/10$, $1/16$, $1/9$. Il obtient ainsi une disposition d'après laquelle, autant que les mesures et les dessins de Newton permettent d'en juger (1), les compléments sont assez exactement opposés.

Comme, dans l'état actuel de la science, une

(1) H. Grassmann, *Zur Theorie der Farbenmischung* (Poggendorff's *Annalen der Physik und Chemie*, t. LXXXIX, p. 76).

comparaison des couleurs du cercle chromatique avec la gamme musicale n'a plus sa raison d'être, il ne semble plus utile d'en tirer les principes pour la détermination des distances angulaires des couleurs.

Outre la condition de mettre toujours exactement en opposition diamétrale les couleurs complémentaires, il convient de chercher et l'on a cherché, en effet, à disposer régulièrement les diverses dégradations de couleurs. Ainsi on ne placera pas le jaune à une distance de quelques degrés seulement du rouge, car dans ce cas, les dégradations du rouge au jaune et celles du vert-bleu au bleu-outremer se presseraient sur un petit espace, tandis que les dégradations du jaune au vert-bleu et de l'outremer au rouge s'étaleraient d'une manière démesurée. D'un autre côté, il est difficile de fixer une règle précise pour obtenir une division régulière. On est en droit de la considérer comme telle, lorsque les paires de nuances très-voisines, et dont les différences sont tout juste encore appréciables, sont situées à une égale distance angulaire. La sensibilité de notre jugement différentiel n'est pas égale pour toutes les régions du cercle chromatique, et les valeurs de cette sensibilité variable ne sont pas déterminées expérimentalement. D'après ma propre expérience, les diverses nuances du pourpre se reconnaissent mieux que celles du vert. Si je ne me trompe, les distances angulaires des nuances vertes seront plus grandes que celles des pourpres. Mais dans ce cas,

une disposition tout à fait régulière ne pourra s'accorder avec la règle énoncée plus haut, de l'opposition diamétrale des compléments. On diminue l'arbitraire, en plaçant au sommet d'un triangle équilatéral trois couleurs, dont le mélange forme le blanc. Le *blanc*, et par conséquent aussi le gris, trouveront leur place au centre de gravité du triangle. Pour déterminer ce centre, on suppose nulle la masse du triangle, et l'on affecte chacune des trois couleurs d'un poids proportionnel à la quantité de cette couleur qui, unie aux deux autres sur la rétine, donne la sensation du gris neutre. En suivant une méthode indiquée par Maxwell (1), on peut alors déterminer la position de toutes les couleurs susceptibles d'être appliquées sur la toupie chromatique, par rapport aux trois premières et d'après un principe unique. Ainsi, cet observateur trouve que sur sa toupie (voir le § 5) le gris neutre est engendré par la superposition de 37 parties de vermillon, 27 parties d'outremer et 36 parties de vert émeraude (2).

Ce même gris se forme également sur le disque de la toupie par le mélange de 28 parties de blanc et de 72 parties de noir.

Il pose, d'après cela, l'équation 1 : $37 V + 27 N +$

(1) *Experiments on colour as perceived by the eye* (Transactions of the Royal Society of Edinburgh, t. XXI, part. II (for the session 1851-55), page 275.

(2) Vert émeraude français, préparé en chauffant pendant dix à vingt heures un mélange de 1 partie d'oxyde de cobalt, 2 parties de bichromate de potasse et de 3 parties d'alun.

36 E = 28 B + 72 N (V = vermillon, O = outremer, E = vert émeraude, B = blanc, N = noir).

Construisons, avec Maxwell, le triangle équilatéral :

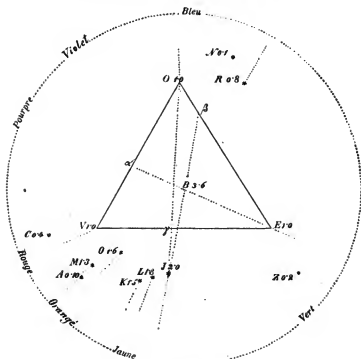


Fig. 16. — Triangle de Maxwell.

VOE (fig. 16), et partageons le côté VO dans le rapport de 27 à 37.

Le point α étant ainsi déterminé, joignons-le par une droite au sommet E; enfin divisons αE dans le rapport de 36 à $(37 + 27)$. Le centre de gravité,

c'est-à-dire le point blanc ou incolore, est en B.

Mélangeons sur la toupie l'outremer, le vert émeraude et le jaune de chrome, nous trouverons l'équation :

$$33 J + 55 O + 12 E = 37 B + 63 N \text{ (J = jaune de chrome pâle).}$$

Dans la première équation, le blanc occupe une surface correspondant à 28, et le noir une surface correspondant à 72 divisions de la périphérie du cercle. En admettant, ce qui n'est pas tout à fait exact, que le noir ne réfléchit aucune lumière, la clarté du gris est à celle du blanc comme 28 : 100. Si je désigne par 1 la clarté d'une partie du gris trouvé, de même que j'ai pris pour unité la clarté d'une partie de vermillon, d'outremer ou de vert émeraude, la clarté totale, dans chaque membre de l'équation, sera égale à 100. Pour rendre le blanc égal à 100, j'ai à multiplier par $\frac{100}{28} = 3,57$ les diverses fractions trouvées qui le composent. De même il faudra aussi multiplier par ce facteur les fractions trouvées du blanc dans l'équation 2, si l'on veut la combiner à la première ; la clarté est alors exprimée dans les deux membres de cette équation en fonction du même gris que celui donné par le premier essai. Dans l'équation 1, la somme des clartés partielles du vermillon, de l'outremer et du vert émeraude est donc égale à 100 unités d'un gris valant $\frac{28}{100}$ de blanc.

Dans l'équation 2, la somme des clartés partielles du jaune de chrome pâle, de l'outremer et du vert émeraude est égale à 100 unités d'un gris valant $\frac{37}{100}$ de blanc. Pour rendre le second comparable au premier, afin de pouvoir combiner les équations 1 et 2, nous n'avons qu'à déterminer la valeur d'une unité du second gris par rapport au premier, au point de vue de la clarté.

A cet effet on pose la proportion :

$$1 \text{ unité gris n}^{\circ} 1 : 1 \text{ unité gris n}^{\circ} 2 :: \frac{28}{1.0} : \frac{37}{100} :: 28 : 37.$$

d'où

$$1 \text{ unité gris n}^{\circ} 2 = 1 \text{ unité gris n}^{\circ} 1 \times \frac{37}{28}.$$

Nos 100 unités de gris n^o 2 valent donc $\frac{100}{28} \times 37$ ou 132 unités du gris n^o 1.

Le nombre $132 = 37 \times 3,57$ représente ce que Maxwell nomme le blanc corrigé ou *b*.

La différence $132 - (55 \text{ O} + 12 \text{ E}) = 65$ me donne la part du jaune de chrome pâle dans la clarté totale.

C'est la valeur corrigée de 33 jaune de chrome ou *p*.

On a $65 p + 55 \text{ O} + 12 \text{ E} = 122 b$. C'est d'après cette équation que nous pourrions déterminer la place du jaune de chrome pâle. On partage, à cet effet, la ligne OE en longueurs proportionnelles à 12 et 55, ce qui donne le point β ; on réunit par une droite le point β au point B; cette ligne sera le lieu

de J. Pour trouver la véritable position de J sur cette droite, nous posons :

$$65 : (55 + 12) = \beta B : BJ.$$

$$BJ = \frac{67}{65} \beta B.$$

Cette valeur de J doit être affectée du coefficient $\frac{65}{33} = 1,97$ ou $= 2$, en nombres ronds. On devra multiplier, par ce coefficient, dans toutes les équations, toutes les valeurs du jaune de chrome trouvées par expérience, pour arriver à la valeur corrigée employée dans la construction géométrique.

Maxwell contrôle son résultat de la manière suivante :

Il place sur sa toupie, d'une part, pour le grand anneau, du jaune de chrome pâle, de l'outremer et du noir, de l'autre, pour le petit cercle interne (voir § 5, fig. 6) des disques vermillon et vert émeraude.

Les cinq disques sont disposés de façon à obtenir la même couleur pour les deux cercles. Il trouve ainsi :

$$39 J + 21 O + 40 N = 59 V + 41 E.$$

Si l'on réunit J et O, E et V par des droites, celles-ci se couperont en Y ; c'est le lieu de la couleur commune qui résulte du mélange soit du jaune de chrome et de l'outremer, soit du vermillon et du vert émeraude. En posant $EV = 100$, on trouve, par des mesures directes,

$$V\gamma = 42 \text{ et } E\gamma = 58,$$

d'où

$$58 V + 42 E = 100 \gamma.$$

et

$$78 J + 22 O = 100 \gamma.$$

78 est un nombre obtenu par construction graphique, c'est donc une valeur corrigée de J. Pour en déduire la valeur expérimentale, il faut diviser par 1,97, ce qui donne 39 J.

En remplissant, avec du noir, la différence produite par là, on a l'équation :

$$39 J + 22 O + 39 N = 58 V + 42 E.$$

qui s'accorde presque en entier avec celle donnée par l'expérience directe.

La figure 16, construite par Maxwell, contient une série de pigments disposés à leurs places respectives et affectés de coefficients numériques. Voici la signification des lettres : C = carmin ; M = minium ; A = orpiment orange ; N = bleu de Prusse ; R = bleu verdet ; Z = vert de Brunswick. En allant, dans ce système des couleurs, du centre à la périphérie, dans une direction quelconque, on passe par des couleurs de plus en plus saturées. Envisageons un seul rayon, on voit que les coefficients des couleurs claires sont toujours plus élevés que ceux des couleurs foncées. Ce système contient donc, outre les couleurs, leur degré de saturation et de clarté ; il est susceptible de servir dans tous les cas concrets,

pourvu que la couleur à ordonner puisse être mise en expérience avec la toupie chromatique ; il offre en outre le grand avantage d'une construction plane. Mais voici un vice qui rend illusoires tous les avantages précédents.

Ce système repose sur une hypothèse gratuite et même inexacte : les trois couleurs fondamentales (outremer, vert-émeraude et vermillon) sont censées avoir la même clarté. En effet, nous avons pris comme unité les clartés de ces trois pigments.

En raison de ce point de départ erroné, les valeurs trouvées sur différents rayons ne sont pas comparables.

Le moyen suivant permet d'éviter cette cause de perturbation, en employant un système analogue.

Avec le concours de six couleurs différentes, dont deux au moins sont exactement complémentaires par la teinte et produisent un gris neutre parfait, et par l'addition du noir et du blanc, on peut obtenir sept équations renfermant chacune, outre le noir et blanc, au plus trois couleurs qui ne sont pas les mêmes d'une équation à l'autre. On forme une huitième équation en mesurant directement, par les procédés photométriques, le rapport de clarté du noir au blanc. Le nombre des équations égalant celui des inconnues, l'on pourra exprimer les clartés de toutes ces couleurs, en fonction de celle de l'une d'elles, choisie arbitrairement.

Plaçons, maintenant, trois de ces couleurs aux sommets du triangle fondamental du système, nous

connaitrons les coefficients de clarté dont ils doivent être affectés.

J'ai fait commencer, dans mon laboratoire, un travail dirigé dans cette voie, mais on n'a pas encore pu aplanir toutes les difficultés qui se présentent pour atteindre des résultats exacts.

Ce n'est que lorsqu'on aura réussi dans cette direction à former un système des couleurs, réellement naturel, dans lequel on pourra introduire les pigments, d'après des mesures précises, que l'on sera à même de suivre isolément les rapports esthétiques des couleurs, dépendant de leur position naturelle, les unes par rapport aux autres, et que les données isolées fournies par l'expérience seront susceptibles d'être reliées par la théorie.

Jusqu'à présent, il n'a été question que de la classification des couleurs pigmentaires. Veut-on grouper toutes les couleurs, voire même celles d'une grande intensité, nos constructions ne pourront plus rester fermées, parce qu'il n'y a pas de limite à l'intensité lumineuse. On se servira alors d'un cône sans fin, engendré par la rotation de l'un des côtés d'un angle de 45° autour de l'autre. Le sommet sera noir. La masse du cône s'éclairera à mesure que la section correspondante augmente. L'axe représenterait la ligne du gris normal et les couleurs saturées seraient réparties à la surface limite. Je donnerai ici, en quelques mots, la description de ce nouveau mode de procéder.

En considérant la lumière émise par une couleur

quelconque comme composée, je puis me représenter celle-ci comme formée par l'union de la couleur propre caractéristique et absolument saturée et de blanc (§ 1). Ce blanc, je le partage par la pensée, en deux couleurs dont l'une est à la teinte caractéristique, et dont l'autre lui serait complémentaire. Appelons cette dernière b , et ajoutons le premier complément à la couleur primitive débarrassée de blanc, en nommant la somme a . Nous avons $s = \frac{a - b}{a + b}$. a et b ne représentent pas une intensité lumineuse, mais une intensité physiologique (voir § 4). Ainsi, si $a = b$ l'intensité de la couleur $= 0$; c'est-à-dire qu'on a du blanc. Avec cette restriction s n'est autre chose que l'état de saturation. Il atteint son maximum $= 1$ pour une valeur de $b = 0$; en d'autres termes, lorsque la couleur ne contient pas de blanc du tout.

Dans les autres cas, la valeur s est fractionnaire et d'autant plus petite que b se rapproche plus de a . Posons $a + b = x$ et $a - b = y$, on a : $y = sx$, équation qui me permet de représenter graphiquement, non-seulement tous les degrés de clarté, mais encore ceux de saturation. Je porte sur une droite toutes les dégradations du noir au blanc et je prends cette ligne comme axe des abscisses. Le lieu de chaque degré de saturation est donné par s et toutes les saturations de même ordre se trouvent sur une droite partant du zéro de l'axe des abscisses ou des x . Tous les points de même clarté doivent avoir la même abscisse.

Pour $s = 1$, la ligne des saturations fait avec l'axe des x un angle de 45° . En posant une limite à la clarté, tous les degrés de clarté de la couleur physiquement saturée, et ne renfermant pas de blanc, se trouvent sur l'hypoténuse d'un triangle rectangle isocèle, dont l'un des côtés renferme toutes les dégradations de clarté du gris, depuis le noir jusqu'au blanc, et dont l'autre contient toutes les nuances claires de la teinte envisagée, depuis la saturation jusqu'au blanc. Si je ne fixe pas de limites, si je suppose le triangle de plus en plus étendu, je pourrai faire rentrer dans le système toutes les clartés imaginables. Le lieu occupé par une couleur dans ce triangle ne rappelle que son caractère physique.

Pour en déduire son caractère physiologique, on devra toujours considérer que les couleurs saturées ne produisent sur notre œil l'effet de saturation que si elles sont moyennement éclairées; au delà de certaines limites inférieures ou supérieures, elles sont obscures ou passent au blanc.

La construction précédente, faite en vue d'une seule teinte, peut s'appliquer facilement à toutes les couleurs. Il suffit, à cet effet, de faire tourner le triangle autour du côté gris. Je forme ainsi un cône dont l'axe représente le gris, et sur la surface duquel sont disposées toutes les couleurs saturées. Entre chacune d'elles et l'axe se trouveront les transitions au gris et au blanc.

Si je mène, d'une couleur quelconque, une droite perpendiculaire à l'axe, et si je divise la longueur de

cette perpendiculaire par la distance de son pied au sommet du cône, la fraction obtenue représentera le degré de saturation. Si le quotient est 1, la couleur est saturée au maximum.

Il est évident que cette disposition n'est qu'idéale et relative. Il est impossible de déterminer la position réelle et absolue des couleurs, parce que nous n'avons pas de mesure absolue de leur clarté et de leur saturation.

[Je ne crois pas inutile de rappeler ici, avec quelques détails, la méthode de classification des couleurs, adoptée par M. Chevreul (1). Ce savant a cherché à assujettir les couleurs à une nomenclature raisonnée, en les rapportant à des types classés d'après une méthode simple, accessible à l'intelligence de tous ceux qui s'occupent des couleurs. A cet effet, il divise la surface d'un cercle en 72 segments, correspondant à 72 couleurs franches, qui sont : le rouge ; le rouge n° 1 ; le rouge n° 2 ; le rouge n° 3 ; — n° 5. Le rouge-orangé ; le rouge-orangé n° 1 ; — n° 5, et ainsi de suite, en passant par l'orangé (0, 1, 2, 3, 4, 5), l'orangé-jaune ; le jaune ; le jaune-vert ; le vert ; le vert-bleu ; le bleu ; le bleu-violet ; le violet, et enfin le violet-rouge.

Avec chacune des 72 couleurs franches, prises comme types, il compose une gamme comprenant vingt tons allant du blanc au noir. La couleur fran-

(1) Voir E. Chevreul, *Des couleurs et de leurs applications aux arts industriels à l'aide des cercles chromatiques* ; Paris, 1864.

che occupe dans cette gamme la dixième ou la onzième place. Les différents termes d'une gamme sont appelés des tons. Aux 72 gammes il ajoute celle du gris allant du blanc pur au noir, en passant par les divers tons du gris neutre ou normal, et les mêmes gammes rabattues avec $1/10^e$, $2/10^e$, — $9/10^e$ de noir. M. Chevreul admet que toutes les variétés de nuances que l'industrie ou l'art peuvent réaliser, sont ainsi représentées ou tout au moins tombent entre deux limites connues.

Ceci posé, une couleur quelconque sera définie :

1° Par la place qu'elle occupe dans le cercle des couleurs franches ;

2° Par son numéro dans la gamme des tons ;

3° S'il s'agit d'une couleur rabattue, par la fraction de noir qu'elle contient.

Ainsi, la couleur garance des pantalons d'uniforme des troupes de ligne françaises, se définit :

Rouge n° 3 ; 11° ton ; $3/10$ de noir.]

§ 7. — De la production des sensations colorées par la lumière.

La sensation lumineuse est le résultat de l'excitation des fibres du nerf optique. Sa génération n'exige nullement l'intervention d'une lumière objective. Toute excitation, soit par pression, soit par l'électricité ou par cause interne, conduit au même but et peut fournir la sensation de couleurs plus ou moins intenses.

Nous ne nous occuperons ici que des rapports des sensations colorées avec l'impression lumineuse. La lumière blanche se compose, nous l'avons déjà dit plus haut, d'un système d'ondes à diverses durées de vibrations. Ces ondes se propagent à partir du point lumineux, comme les ondes sonores à partir du corps sonore; elles s'étendent régulièrement dans toutes les directions, semblables aux cercles concentriques formés autour d'une pierre tombée à l'eau. De même que ces anneaux, lorsqu'ils rencontrent les parois d'un bassin, sont réfléchis et forment des cercles dirigés en sens inverses des premiers, de même aussi les ondes lumineuses sont réfléchies par les corps matériels et arrivent ainsi à notre œil. Elles traversent les milieux transparents de cet organe, atteignent les dernières ramifications du nerf optique et leur transmettent leur impulsion.

L'observation directe ne nous apprend pas à distinguer dans la rétine plus d'une espèce de nerfs. Il semble donc, au premier abord, naturel d'admettre que tous les filets nerveux sont équivalents, que tous provoquent la même sensation colorée, s'ils sont frappés par une lumière de même durée de vibrations.

Dans cette hypothèse :

Le violet serait le résultat de l'impression d'une lumière faisant 370 à 360 vibrations par seconde ;

Le bleu. . . 670

Le vert. . . 610

Le jaune. . . 560

L'orangé... 530

Le rouge... 500 à 481.

Enfin le blanc est formé par le concours simultané de ces lumières mélangées dans les proportions spectrales (voir § 4). Cette manière de voir rencontre cependant des difficultés assez sérieuses. D'abord, il est évident que le nombre des sensations colorées n'est pas limité à 6 ou 7; il est, au contraire, très-considérable, grâce à l'exquise sensibilité de notre organisation pour distinguer les différences chromatiques.

Nous sommes donc conduits à attribuer, à une seule et même espèce de nerfs, une foule d'états d'excitation distincts, tant sous le rapport de la qualité que sous celui de la quantité, états qui se traduisent chacun en une sensation spéciale.

Cette conséquence n'est pas absolument irrationnelle, mais elle devient peu probable si nous tenons compte des phénomènes offerts par d'autres nerfs.

D'un autre côté, la sensation d'une couleur, du bleu, par exemple, n'est pas seulement le résultat d'une impression lumineuse à durée de vibration déterminée. Dans le cas choisi, elle peut dériver : 1° d'une lumière à 670 billions de vibrations, en moyenne, par seconde; 2° du concours simultané de lumière violette à durée vibratoire courte et de lumière verte à durée vibratoire longue; 3° de l'impression d'une lumière blanche, privée partiellement ou totalement de jaune. Les autres couleurs offrent également des sources génératrices multiples et analogues. On a cherché à démontrer par le calcul que

dans le cas d'une impression complexe, donnant une sensation d'apparence simple, les lumières élémentaires composent mécaniquement leur effet, de manière à produire la même excitation que la lumière simple correspondante; mais on n'est pas arrivé à des résultats satisfaisants.

Il convient de ne pas perdre de vue : 1° que la couleur complexe ne dépend pas seulement de la durée vibratoire de ses éléments, mais aussi du rapport dans lequel le mélange est fait; 2° que deux lumières, dont l'une impressionne l'œil droit et l'autre l'œil gauche, provoquent la même sensation que si elles tombaient simultanément sur la même place de l'une des rétines. Ce dernier fait avait été méconnu par les anciens observateurs, et cela par une double cause. D'abord ils s'attendaient à tort à voir paraître la couleur résultant du mélange de deux pigments colorés comme les lumières employées. Ainsi ils croyaient devoir éprouver la sensation du vert en regardant avec un œil à travers un verre bleu et avec l'autre à travers un verre jaune. Nous savons aujourd'hui que le jaune et le bleu s'unissent sur un même point de la rétine pour donner la sensation du blanc ou du gris. D'un autre côté, on ne disposait pas de moyens suffisamment exacts pour réunir en une seule les impressions exercées sur les deux yeux séparément.

L'invention du stéréoscope a beaucoup contribué à faciliter les expériences dirigées dans cette voie.

[Le stéréoscope est un instrument assez répandu aujourd'hui pour qu'il soit tout à fait superflu d'en

donner ici une description ; mais comme bien des personnes, même parmi les gens éclairés, les gens du monde, ignorent absolument le petit mécanisme physiologique et optique sur lequel reposent sa construction et ses propriétés, nous les rappellerons ici en deux mots.

Dans l'acte de la vision binoculaire, les deux yeux fixés harmoniquement sur un même objet ou un même ensemble d'objets, ne voient pas cet objet ou cet ensemble d'une façon identique. L'œil droit embrasse davantage à droite, le gauche davantage à gauche, et moins, par conséquent, à droite, et ces différences se retrouvent en même proportion dans les angles sous lesquels sont vus, à droite et à gauche, deux points quelconques de ces objets non symétriquement placés par rapport au plan vertical intermédiaire aux deux yeux. Des images similaires, mais non identiques, sont donc ainsi dessinées, sur les rétines, au fond des yeux ; de sorte que si l'on substituait, sans en prévenir le sujet, à l'objet lui-même ses traces exactes sur un plan de perspective, l'impression résultante ne devrait pas être changée, et l'observateur croirait toujours voir l'objet lui-même, tous les points du champ de la vision demeurant dans leurs situations relatives. Tel est l'objet du stéréoscope ; isolant d'abord les deux yeux, on se propose de placer devant chacun d'eux une image photographique de l'objet, exactement égale à celle qui serait dessinée *pour cet œil*, par l'objet même sur le plan de perspective. Ainsi A, B, C étant les projections hori-

zontales des trois arêtes d'un prisme vertical triangulaire, placé devant un observateur dont les centres optiques des deux yeux sont en o et o' , abc , $a'b'c'$ représenteront les intersections par un plan de perspective quelconque MN , des axes secondaires dirigés de o et o' sur le prisme.

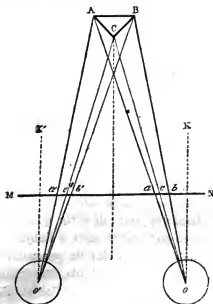


Fig. 17. — Mécanisme de la vision dans la stéréoscopie (Giraud-Teulon).

Les axes optiques dirigés de o sur a , b , c , de o' sur a' , b' , c' , iraient donc se rencontrer en A , B , C . L'impression perçue serait celle que donnerait le prisme A , B , C lui-même.

Tel serait exactement le mécanisme de la vision

de l'objet ABC au moyen des traces (a, b, c) , (a', b', c') sur le plan de la perspective, si les deux yeux les visaient au moyen de deux cartes percées de petits trous d'épingle.

Dans la stéréoscopie, les dessins abc , $(a'b'c')$ ne

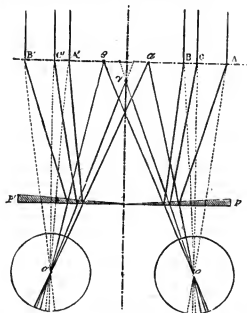


Fig. 18. — Stéréoscope par réfraction de sir D. Brewster : effet stéréoscopique (Giraud-Teulon).

sont point placés sur des axes convergents tels que oA , $o'A$. Ils sont à l'aplomb des yeux, en face d'eux exactement. Les axes optiques de ceux-ci sont donc dans l'état d'indifférence. Il faut alors, par un artifice quelconque, reporter les points similaires des direc-

tions $ok, o'k'$, parallèles, sur des directions en convergence, telles que $oc, o'c'$.

A cet effet, on place devant les yeux, entre eux et le dessin KK' , deux prismes dont les sommets se re-

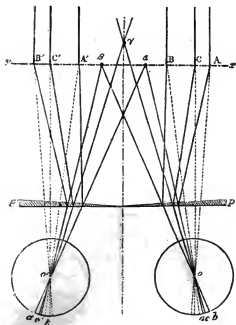


Fig. 19. — Stéréoscope par réfraction de sir D. Brewster : effet pseudoscopique (Giraud-Teulon).

gardent et dont l'angle doit être calculé de façon à renvoyer les deux images l'une vers l'autre, en les plaçant sur le chemin des axes optiques $oc, o'c'$.

Les yeux se retrouvent alors dans les conditions de la figure 17, avec leurs axes principaux et secon-

daïres dans les directions mêmes de A, B, C, objet réel.

Les dessins *abc*, *a'b'c'* ainsi placés sur le chemin des convergences naturelles, impressionnent alors l'observateur, comme le ferait l'objet lui-même, avec ses différences de plans, ses retraits et ses reliefs.

Pour que la stéréoscopie soit la reproduction artificielle exacte des conditions de la vue naturelle, pour que la rencontre des axes secondaires *o* (*abc*), *o'* (*a'b'c'*) ait lieu *dans l'espace*, exactement sur les points mêmes A, B, C, dont ils sont la trace sur un certain plan de perspective imaginaire MN, il faut que ces images soient placées réellement ou virtuellement sur les directions mêmes *o* (A, B, C), *o'* (A, B, C).

Si l'on veut bien comparer entre elles la figure 17, d'une part, à la figure 19 de l'autre, la simplicité de ces conditions sautera aux yeux (1).]

C'est avec le secours du stéréoscope que Dove a définitivement prouvé que deux lumières provoquent la même sensation, soit qu'elles impressionnent simultanément le même œil ou chacune isolément l'un des yeux.

Dans ce dernier cas, il ne peut être question de combinaison de mouvement dans la lumière objective. L'union ne s'effectue qu'entre les états d'excitation des nerfs optiques. L'idée d'une constitution

(1) Giraud-Teulon, *Physiologie et Pathologie fonctionnelle de la vision binoculaire*; Paris, 1861, p. 614 et suiv.

identique de tous les filets nerveux conduit encore à une autre difficulté.

Pour concevoir la production d'un si grand nombre d'états d'excitation différents, dans les mêmes fibres nerveuses, il faut admettre une transmissibilité, sinon également, du moins généralement facile, de vibrations dont les durées sont comprises dans les limites de $1/764$ à $1/481$ billionième de seconde, à un seul système, à l'extrémité des fibres nerveuses optiques. Ces vibrations y provoqueraient des mouvements à périodes distinctes, et ceux-ci se transmettraient, convenablement modifiés, à travers le filet nerveux jusqu'au cerveau. Cette conséquence ne s'accorde pas avec les principes généraux de la mécanique.

Déjà, au commencement de ce siècle, Thomas Young fut amené, par ces considérations, à admettre l'existence de trois espèces de fibres optiques. Chacune d'elles présiderait spécialement et à l'exclusion des deux autres aux trois sensations suivantes : rouge, vert, violet.

Ces trois sortes de fibres, que nous distinguerons par la couleur qu'elles transmettent à notre organe sensitif, sont susceptibles d'être excitées par toute espèce de lumière, et, pour une même espèce nerveuse, l'excitation se traduit toujours qualitativement par la même sensation, quelle que soit la lumière excitante; quantitativement, les fibres rouges sont plus fortement excitées par la lumière à durée de vibration longue, que nous appelons le rouge mo-

nochromatique; les fibres vertes le sont davantage par la lumière verte, à durée vibratoire moyenne, et les fibres violettes sont plus énergiquement excitées par la lumière violette homogène, c'est-à-dire par celle dont la durée vibratoire est la plus courte. Pour expliquer la génération des divers jaunes du spectre, Thomas Young suppose que la lumière, dont la durée moyenne de vibration est de $1/360$ billionième de seconde, provoque sur les fibres rouges et vertes des excitations de même force; aucun des deux systèmes n'arrive alors à produire une sensation dominante, et la sensation composée moyenne est ce que nous nommons jaune. Un procédé analogue permet d'expliquer la naissance du bleu par l'intermédiaire des fibres vertes et violettes.

Cette théorie fit peu de sensation au début. Ce n'est que beaucoup plus tard, que Helmholtz (1) la fit revivre en démontrant qu'elle est, plus que toute autre, d'accord avec les faits.

On comprend ainsi pourquoi la lumière blanche, dont on a enlevé une couleur ou une partie de couleur, peut produire une sensation concordant tellement avec celle dérivant d'une lumière homogène, qu'il nous est impossible de les différencier.

En effet, si chaque lumière excite chacun des trois systèmes de fibres, mais en portant plus particulièrement son action sur un ou deux d'entre eux; si la nature de la sensation colorée dépend de ce

(1) Helmholtz, *Physiologische Optik*.

qu'un ou deux des systèmes sont plus fortement ébranlés, il est évident que la perception de chaque couleur spectrale peut être provoquée de deux manières : 1° par de la lumière homogène à durée vibratoire déterminée ; 2° par un mélange tel que l'excitation maximum corresponde aux fibres les plus sensibles à la lumière homogène correspondante.

En réalité, les deux couleurs n'auront pas le même degré de saturation, mais comme nous ne distinguons bien, sous ce rapport, que les couleurs dont la saturation est faible, l'illusion sera complète si l'inverse a lieu. Cette hypothèse de Young rend également compte de la perte progressive de saturation des couleurs, même de celles du spectre, lorsque la clarté s'élève au delà de certaines limites. Rappelons-nous, à ce sujet, que l'impression lumineuse suit dans son augmentation une progression beaucoup moins rapide que l'excitation causale, et que lorsque cette dernière dépasse une certaine limite, la première cesse de croître et s'arrête à un maximum (§ 3). Ainsi, avec une clarté moyenne, l'excitation provoquée par la lumière verte, sur les fibres rouges et bleues, peut être assez faible par rapport à celle des fibres vertes, pour passer inaperçue ; mais à mesure que l'éclairage augmente, elle devient de plus en plus sensible, et à partir de ce moment le vert perd de sa saturation. Enfin, si la force lumineuse est telle que les trois espèces d'excitation atteignent leur maximum, le vert se changera en blanc.

D'après cela, l'état de saturation d'une couleur

complexe doit diminuer plus vite que celui d'une couleur homogène, sous l'influence d'une même augmentation dans l'intensité lumineuse, bien qu'au début les deux couleurs semblaient également saturées.

La couleur composée contient, en effet, des lumières susceptibles d'impressionner de préférence les autres systèmes nerveux, et, par une augmentation proportionnelle, leur influence ne tardera pas à se faire sentir.

Cette conséquence s'accorde avec les faits expérimentaux. La même théorie explique pourquoi, dans le mélange de deux couleurs sur la rétine, les proportions respectives influent sur la nature et la teinte de la couleur composée et comment il est possible, en variant les doses de l'une ou de l'autre, de produire toutes les couleurs comprises entre elles sur le cercle spectral. Ainsi, par exemple, la sensation jaune étant provoquée par une excitation équivalente des fibres rouges et vertes, excitation qui l'emporte de beaucoup sur celles des fibres violettes, si j'augmente la dose du vert, c'est-à-dire de la lumière qui impressionne davantage les fibres vertes, la sensation verte domine, et le jaune vire au vert en passant par le jaune-vert. Si, au contraire, j'augmente la masse de lumière rouge, c'est-à-dire de la lumière qui excite plus particulièrement les fibres rouges, la sensation rouge domine, et le jaune passe à l'orangé et au rouge.

Les mêmes remarques s'appliquent au mélange de rouge et de violet, donnant les dégradations du

pourpre, et à celui de vert et de violet qui fournit les bleus. Maxwell a observé, sur les individus qui distinguent mal les couleurs, des phénomènes qui concordent avec les idées de Young. On peut admettre chez ces sujets une paralysie ou une absence partielle ou totale de l'une des variétés de fibres. Helmholtz et Schelske (1) ayant reconnu que la partie antérieure de leur rétine est insensible aux rayons rouges, il est permis de supposer que les fibres rouges n'atteignent pas le bord antérieur (*ora serrata*) de cette membrane.

Ajoutons cependant que si aucun fait n'est directement opposé à la théorie de Young, elle ne s'appuie pas non plus sur des expériences positives qui la rendent irréfutable sur tous les points.

§ 8. — Des couleurs par réfraction.

Il y a génération de couleurs, par réfraction lorsque la lumière passe d'un milieu transparent dans un milieu plus ou moins dense.

[Lorsque des rayons lumineux passent d'un espace vide dans un corps transparent, ou d'un milieu moins dense dans un autre qui l'est davantage, s'ils tombent perpendiculairement sur la surface du second milieu, ils continuent de cheminer en ligne droite; mais si leur incidence est oblique, ils changent de direction, et, tout en continuant de suivre

(1) *Archiv für Ophthalmologie, herausgegeben von Arlt, Donders und von Gräfe. T. IX, p. 36.*

le prolongement du plan d'incidence, ils se rapprochent de la perpendiculaire. Ainsi AB étant le plan d'incidence du milieu plus dense C , le rayon ab , au lieu de suivre la direction bc , se rapprochera de la perpendiculaire de et marchera dans la nouvelle direction bf .

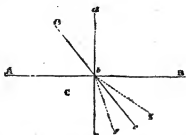


Fig. 20. — Conditions physiques de la production des images par un milieu réfringent.

Si, au contraire, le rayon passe obliquement d'un corps transparent dans un espace vide, ou d'un milieu plus dense dans un autre qui l'est moins, il s'éloigne de la perpendiculaire, et, au lieu de la direction bc , il suit celle bg (1).

Les lumières à durées vibratoires courtes sont plus fortement déviées de la ligne primitive que celles à durées longues. On comprend ainsi la nécessité d'une séparation des divers rayons colorés, composant la lumière du jour ou celle d'une bougie.] Nous avons appris au § 1 à connaître ces couleurs, dans

(1) Muller, *Manuel de physiologie*, trad. par Jourdan. Paris, 1851, tome II, p. 289.

leur plus grand état de pureté, sous le nom de *couleurs prismatiques*. Toutes choses égales d'ailleurs, la séparation, par le prisme, des rayons homogènes à durées vibratoires plus ou moins longues, est d'autant plus parfaite que celui-ci occasionne des différences plus grandes dans la vitesse de leur propagation. Aussi a-t-on soin de choisir, pour la construction des prismes en optique, un verre spécial, le *Flint glass*, qui ralentit beaucoup plus la vitesse de marche des lumières à durées vibratoires courtes, que celle des autres.

Dans la construction des lustres on fait usage de prismes en verre très-primitifs, il est vrai, seuls ou associés à d'autres solides polyédriques. Ils fonctionnent à la fois comme réflecteurs et comme milieux réfringents destinés à développer des couleurs vives et belles, en même temps que leur agencement plus ou moins artistique est destiné à produire un effet d'ensemble.

Bien que cette application puisse satisfaire un œil qui se complait aux effets brillants, nous n'en dirons pas moins qu'elle est barbare; car on n'est pas maître de la disposition des couleurs, qui change constamment avec la position de l'observateur.

Il en est absolument de même des jeux de lumière réfractée réalisés par les parures en diamant. Ce n'est certes pas par leur beauté que leur usage se perpétue depuis des siècles et se continuera probablement longtemps encore. La cause en est plutôt dans la grande valeur et l'inaltérabilité des pierres

qui se transmettent de génération en génération, comme trésor de famille.

En voyant combien peu elles sont favorables à la beauté qui les porte, et combien elles tendent plutôt à l'enlaidir et à la vieillir, on se demande avec raison si les dames continueraient à se parer de ces bijoux brillants, si leur valeur ne dépassait pas celle des perles de verre, portées en collier par nos paysannes. La clarté des lumières projetées par le diamant, clarté souvent augmentée par des surfaces métalliques sous-jacentes, est due à deux propriétés : grâce à sa dureté, le diamant est susceptible de recevoir un beau poli ; de plus, il provoque un ralentissement très-notable dans la vitesse de propagation de la lumière à travers sa substance. La vitesse de la lumière dans le diamant est à celle qu'elle a dans le strass employé pour l'imiter, comme 2 est à 3.

La quantité de lumière réfléchie dépendant, toutes choses égales d'ailleurs, du degré de poli de la surface, ainsi que de la résistance et des retards éprouvés à l'entrée dans le nouveau milieu, il est impossible de donner aux pierres fausses le même éclat qu'aux vraies.

Elles n'offrent jamais, selon l'expression des minéralogues, qu'un *éclat vitreux*, et n'atteignent jamais l'éclat adamantin ; car la différence entre ces deux espèces d'éclat dépend de la force de la réflexion.

Le diamant doit ses jeux de couleur aux mêmes causes que le prisme de verre. Les lumières à vibra-

tions courtes sont plus déviées par la réfraction que celles à durées vibratoires longues, d'où résulte la séparation des lumières homogènes. Cette séparation, on le conçoit, n'est pas aussi radicale qu'avec le prisme de flint; mais elle l'est assez pour qu'il y ait production de couleurs très-vives.

{ Le diamant cristallise dans le système cubique et affecte principalement les formes relatives au tétraèdre : on le trouve en octaèdre, en dodécaèdre

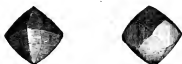


Fig. 21 et 22. — Diamants bruts.

rhomboïdal, en trapézoèdre et en scalénoèdre (fig. 21 et 22).

Les principales formes que l'on donne par la taille au diamant en Europe sont celles en *brillant* et en *rose*.

Le *brillant* est un diamant d'une épaisseur assez considérable que l'on dresse en *table* à sa partie supérieure et que l'on forme en culasse à sa partie in-



Fig. 23, 24 et 25. — Brillants.

férieure (fig. 23, 24 et 25) : ces diamants jouissent d'un grand éclat et se moulent à jour.

La rose est un diamant d'une faible épaisseur, que l'on taille à plat en dessous et que l'on recouvre d'une multitude de petites facettes triangulaires (fig. 26 et 27).



Fig. 26 et 27. — Roses.

Ces diamants se montent avec une lame métallique blanche et polie.]

La taille en brillant est, sous le rapport de la production des couleurs, la plus favorable ; elle a été employée pour la première fois sur une série de diamants de la couronne retravaillés à neuf sur les ordres du cardinal Mazarin. Cette série a conservé le nom du ministre de Louis XIV. La taille en rose était connue depuis 1520. La préparation régulière de facettes date d'une époque encore plus reculée. On en attribue généralement la découverte à Louis de Berquem (1456). Pour le brillant, les dispositions suivantes sont les plus favorables :

Hauteur de la partie supérieure = $\frac{1}{3}$ de la hauteur totale, hauteur de la partie inférieure = $\frac{2}{3}$ de la hauteur totale, diamètre de la table = $\frac{4}{9}$ du diamètre du grand cercle, surface de la kalette = $\frac{1}{5}$ de la surface de la table (1). Ces rapports, ainsi que la position et l'agencement des facettes, ont été trouvés empiriquement, et on les emploie pour d'autres

(1) K. E. Kluge, *Handbuch der Edelsteinkunde*, Leipzig, 1860.

pierres précieuses, telles que cristal de roche, topaze, qui doivent simuler du diamant, ainsi que pour le strass; bien qu'il soit impossible d'admettre que, vu les différences optiques, la même coupe réalise, pour ces diverses pierres, les effets les plus favorables. Il est vrai que, pas plus que pour le diamant, la taille de ses substituts n'a été soumise à un examen théorique; elle n'a même pas été étudiée empiriquement avec autant de soin. On se laisse donc dominer par le désir d'augmenter autant que possible la ressemblance.

Si, dans la taille en brillant des diamants eux-mêmes, surtout des plus gros, on s'écarte souvent des règles posées plus haut, ce n'est pas dans le but d'augmenter les yeux de lumières, mais bien plutôt pour ménager la masse de la pierre, en sacrifiant une partie des effets optiques à une question de poids.

C'est à la pratique et à l'expérience de décider de la prédominance qu'il convient de donner à ces deux ordres de considérations et à les balancer convenablement. Dans les diamants colorés, la couleur par réfraction se combine avec celle qui naît de l'absorption (§ 14). Cette dernière dérive de l'affaiblissement inégal éprouvé par les lumières homogènes qui traversent la masse. Il en résulte qu'un certain nombre de couleurs obtenues par réfraction doivent perdre de leur intensité. Cet effet se produit dans des proportions très-diverses, suivant la nature et l'intensité de la couleur propre du diamant; quelquefois il est si faible, que la couleur d'absorption de la

Pierre semble plutôt augmenter que diminuer son feu. Le diamant, si remarquable par sa couleur jaune serin, qui est conservé au cabinet de minéralogie de la cour impériale de Vienne, sous le n° 30, présente plus de feu dans ses jeux de lumières que n'importe quelle pierre de la collection, sans en excepter les diamants incolores. Peut-être doit-il une partie de ses qualités au rare fini de son poli.

Les jeux de couleurs des diamants jaune-verdâtre (n° 24 et 25 de la même collection) sont aussi très-vifs ; ils deviennent plus faibles pour la pierre verte n° 22, enfin ils apparaissent remarquablement amoindris pour le grand échantillon n° 26 qui est bleu.

Les diamants qui n'ont pas de couleur bien déterminée, qui n'ont qu'une teinte jaunâtre, sont moins estimés que ceux dont la nuance est marquée ou que les diamants incolores. Pour cette raison, on cherche à les rapprocher le plus possible des derniers. A cet effet, on obvie au manque de lumière bleue en appliquant de petites quantités d'outremer sur leur pourtour d'enchâssement et, pour les diamants qui ne sont pas à jour, sur les arêtes qui limitent les facettes de l'envers. J'ai également vu employer du carmin à côté de l'outremer. L'utilité pratique de l'emploi de l'une de ces couleurs, ou des deux à la fois, dépend de la nuance de la pierre. Si elle vire au jaune orangé, le bleu seul doit servir ; sa teinte tend-elle au vert jaune, il conviendra de faire intervenir en même temps le rouge.

En un mot, il s'agit toujours de rétablir dans la

masse lumineuse, par des additions locales de pigments colorés, l'équilibre détruit par l'absorption. Ce procédé s'applique surtout avec avantage, lorsqu'il s'agit de réunir dans une même parure plusieurs pierres de nuances dissemblables, dans le but de masquer l'irrégularité.

§ 9. — Des couleurs chatoyantes.

Nous savons que l'essence de la lumière réside dans les vibrations de particules très-petites, ébranlées par la source lumineuse et transmettant leur mouvement aux particules voisines.

Tant que cette transmission s'opère dans le même milieu, tant qu'elle n'est pas ralentie ou accélérée, elle continue en ligne droite. Nous appelons *rayons* les lignes droites que nous pouvons tracer par la pensée dans toutes les directions, à partir du point lumineux, centre d'activité.

D'après cela, nous dirons qu'un rayon lumineux est *réfléchi par une surface*, en entendant par rayon réfléchi la direction suivie par l'onde de retour renvoyée par cette surface comme le sont les ondes aqueuses par les parois d'un bassin. De même, en disant qu'un *rayon est réfracté*, lorsqu'il pénètre obliquement dans un nouveau milieu qui ralentit ou accélère sa vitesse, nous sous-entendons que c'est le mouvement ondulatoire qui est modifié dans sa marche, de telle façon que la ligne représentant sa direction fasse un coude brusque.

Nous atteindrons le but que nous nous proposons dans ce chapitre, en représentant graphiquement le rayon lumineux par une ligne droite (fig. 28) combinée avec une ligne sinueuse.

Les distances de cette ligne sinueuse à la droite



Fig. 28. — Mouvement ondulatoire des rayons.

mesurent, pour chaque particule du fluide éthéré, la force de l'impulsion qui agit sur elle, au moment considéré, pour la pousser, dans son mouvement vibratoire, d'un côté ou de l'autre.

Considérons maintenant deux rayons d'une même espèce de lumière, se propageant simultanément suivant la même droite; la durée vibratoire et la longueur d'onde, c'est-à-dire les distances entre deux points culminants de l'onde étant les mêmes, nous pouvons coucher par la pensée la ligne sinueuse du second rayon sur celle du premier, en admettant qu'il y a coïncidence parfaite entre les ondes ascendantes de l'un et les ondes ascendantes de l'autre, de même que pour les ondes descendantes. Il est facile de voir que, dans ce cas, les impulsions reçues à chaque instant, par une même particule de fluide, de la part de chacun des mouvements lumineux, sont dirigées dans le même sens, et ajoutent leur effet; si au contraire, les lignes sinueuses, au lieu de se confondre, sont directement opposées, comme dans la figure 29, c'est-à-dire si les parties ascen-

tes de l'une des ondes correspondent aux parties descendantes de l'autre, chaque particule recevra, au même moment, deux impulsions en sens inverse ;



Fig. 29. — Mouvement ondulatoire des rayons contraires.

si, de plus, les impulsions sont égales en intensité, comme cela arrive pour des rayons d'égale clarté, l'effet produit sera nul, il y aura repos et partant absence de lumière, tout comme si les deux rayons n'existaient pas.

Ce principe, d'après lequel des rayons lumineux parcourant la même route peuvent tantôt se renforcer, tantôt s'éteindre mutuellement, s'influencer et se modifier, porte le nom de principe des interférences.

L'interférence des rayons lumineux est une source génératrice de couleurs; nous allons voir tout à l'heure comment, et étudier quelques-unes de ces couleurs d'interférence.

La nacre de perle est formée de couches nombreuses très-minces et alternatives, de matière organique et de carbonate de chaux. Ces couches n'ont pas la même dureté; aussi, lorsqu'on vient à pratiquer une coupe oblique et à la polir, on n'obtient pas un plan, mais une surface finement striée, comparable à un système de terrasses disposées en échelons réflecteurs.

Il peut se faire, d'après cela, que les rayons lumi-

neux qui suivent la même route, après leurs réflexions sur différents échelons, ne soient plus à ondulations concordantes. Soient deux rayons parallèles de et ab (fig. 30), réfléchis par la surface polie pq . Ces deux rayons ayant à l'origine des vibrations concordantes, leur accord ne sera pas détruit à leur arrivée en g et en c . Ils ont parcouru, en effet, la même longueur de route et subi une seule et même réflexion.

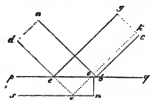


Fig. 30. — Marche des rayons sur la nacre de perles.

Remplaçons la surface plane pq par la terrasse à échelons $snoq$; le rayon de devra arriver en z

avant de se réfléchir pour donner zk . Il en résulte que le chemin parcouru par $dez k$ est plus long que celui de abc , et les deux rayons sont amenés à l'interférence. Si la différence des chemins parcourus est égale à $1/2$, $1\ 1/2$, $2\ 1/2$, etc., longueurs d'ondes (la longueur d'onde est égale à l'espace parcouru par le mouvement lumineux, pendant qu'une particule exécute une vibration entière, c'est-à-dire un mouvement complet tant en deçà qu'au delà de sa position d'équilibre), les impulsions dans un sens, émanées de l'un des rayons, coïncideront exactement avec les impulsions en sens inverse de l'autre, et si, à l'origine, l'intensité était la même, si la réflexion n'a pas affaibli l'un plus que l'autre, les deux lumières se neutraliseront mutuellement en produisant de l'obscurité.

Disons de suite qu'avec la lumière blanche l'interférence, quelque complète qu'elle soit, ne pourra pas engendrer l'obscurité, l'effet produit sera une lumière colorée. En effet, elle se compose d'une série de lumières à durées vibratoires et partant à longueurs d'ondes différentes. Pour le rouge, dont la vibration est la plus lente, elle est presque deux fois plus longue que pour le violet. Quelle que soit donc la différence de marche apportée par les réflexions multiples, il n'y aura jamais qu'une partie des lumières homogènes constitutives de la lumière blanche qui s'éteindront (1) ou s'affaibliront. Or, nous avons vu plus haut (§ 5) qu'en enlevant à la lumière blanche une portion de lumière colorée, le reste est coloré lui-même, c'est la complémentaire de la partie soustraite. Ce sont donc les compléments des couleurs détruites par l'interférence que nous voyons à la surface des plaques de nacre.

Sir David Brewster ayant pris l'empreinte d'une semblable surface de nacre, avec de la cire à cacheter noire et très-fine, observa que l'empreinte produisait des couleurs analogues, la réflexion ayant lieu sur une surface striée de même nature.

Cette observation a donné naissance à une application intéressante; on fabriqua des boutons de chemises ou d'habits en métal, sur lequel on traçait des systèmes de stries qui, simulant les terrasses de

(1) Celles pour lesquelles la différence de marche provoquée par les réflexions est égale à $1/2$, $2\ 1/2$ longueurs d'ondes.

(Note du traducteur.)

la nacre, donnaient lieu à des réflexions colorées. C'est ce que l'on nomme les boutons irisés. En tournant lentement un semblable bouton, ou un fragment de nacre, de manière à changer l'incidence des rayons lumineux, on change en même temps les différences de marche des rayons lumineux, et par conséquent l'espèce des couleurs engendrées. Les couleurs semblent se mouvoir à la surface en se remplaçant les unes les autres. Le phénomène porte le nom de chatoiement, et l'on appelle couleurs chatoyantes, surfaces chatoyantes, les couleurs ainsi produites et les surfaces mères.

La réflexion sur une surface striée n'est pas la seule manière de réaliser de semblables effets.

Un seul feuillet transparent et très-mince, une couche de liquide extrêmement peu épaisse suffisent.

Cette méthode est encore plus instructive; elle sert de base à l'expérience du verre colorant de Newton. Soit une lentille biconvexe, à grand rayon de

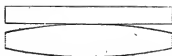


Fig. 31. — Expérience du verre colorant de Newton.

courbure, superposons, comme dans la figure 31, une plaque plane en verre.

Nous emprisonnons ainsi une couche d'air dont l'épaisseur diminue graduellement, de la circonférence au centre, où elle est nulle. La lumière incidente, qui pénètre à travers la plaque de verre, subit deux

réflexions : une première à son passage du verre dans l'air ; une seconde à sa sortie de la couche d'air dans le verre de la lentille. Les rayons réfléchis de la première espèce et de la seconde n'auront pas parcouru des chemins égaux, lors de leur réunion ; l'accord de leurs mouvements vibratoires sera donc altéré, et il pourra en résulter des phénomènes d'interférence du même ordre que ceux que nous avons étudiés plus haut.

Ici nous devons tenir compte de l'observation suivante : il n'est pas tout à fait indifférent que la lumière soit réfléchie à son passage d'un milieu où elle se meut plus vite, dans un milieu où elle se meut plus lentement, ou inversement. Dans le premier cas les molécules qui transmettent une partie de leur mouvement à celles du second milieu, sont immédiatement renvoyées après le choc, en sens inverse ; dans le second, au contraire, elles continuent encore à marcher dans la direction qu'elles avaient avant le choc, pendant la durée d'une demi-vibration, ce n'est qu'alors qu'elles développent l'impulsion de retour, d'où naît l'onde réfléchie.

Il en résulte que, si un rayon lumineux est réfléchi une première fois à son passage du verre dans l'air, et une seconde fois au passage de l'air dans le verre, les deux rayons réfléchis seront en retard, l'un par rapport à l'autre, d'une demi-longueur d'onde, même si les chemins qu'ils ont parcourus sont égaux ; ils pourront donc interférer et s'annuler si les intensités sont égales.

Appliquons ce fait, qui est une conséquence bien simple des lois de l'élasticité, à l'expérience de Newton; nous verrons qu'au centre, là où la plaque repose sur la lentille et dans le voisinage immédiat du point de contact, la couche d'air est si mince, que la différence des routes des deux rayons n'est qu'une fraction très-petite de la longueur d'onde et peut être négligée en pratique. Il ne reste donc que le retard d'une demi-longueur d'onde, dû à la cause indiquée plus haut. Or, comme les diverses lumières homogènes subissent chacune pour leur part la même altération respective, il en résulte une interférence totale, et le point central, vu par réflexion, paraît noir.

A mesure que l'on s'éloigne du point de contact, la couche d'air augmente d'épaisseur, la différence réelle des chemins parcourus par le rayon réfléchi à la surface d'entrée, et le rayon réfléchi à la surface de sortie de cette couche s'accusent davantage.

On arrive à une zone circulaire où sa valeur atteint une demi-longueur d'onde violette; un peu plus loin, elle est égale à une demi-longueur bleue, puis à une demi-longueur d'onde verte, et ainsi de suite jusqu'au rouge. Or, comme les rayons sont déjà, par la nature inverse de leur mode de réflexion, en retard d'une demi-ondulation, les zones précédentes deviennent des lieux d'interférence positive maxima, pour les lumières correspondantes. Au delà de ces anneaux, nous en trouvons successivement d'autres, la couche d'air augmentant toujours d'épaisseur, où les

différences de route deviennent égales à 1, $1\frac{1}{2}$, 2, $2\frac{1}{2}$, etc., longueurs d'ondes du violet, du bleu et du rouge.

Avec une lumière monochromatique, on obtient ainsi, comme on le voit facilement, des cercles alternativement éclairés et obscurs. Le même effet se produit en éclairant les verres avec la flamme d'une lampe à alcool salé, ou avec la mèche d'une lampe entourée d'un verre rouge à l'oxydure de cuivre.

Les anneaux clairs correspondent aux positions pour lesquelles les différences de chemins parcourus sont égales à $1/2$, $3/2$, $5/2$, etc., longueurs d'ondes.

Les anneaux obscurs à celles pour lesquelles les différences sont de 1, 2, 3, etc., longueurs d'ondes.

La position des anneaux clairs ou obscurs variant avec l'espèce de lumière, il est évident qu'avec la lumière blanche, les diverses lumières homogènes n'entreront pas dans les mêmes proportions dans les maximum d'éclairage ou d'obscurité, et la série des anneaux clairs et obscurs sera remplacée par une succession d'anneaux diversement colorés; chacun d'eux étant engendré par la destruction d'une partie des éléments constitutifs du blanc, partie variant avec l'épaisseur.

La succession des couleurs que présentent les anneaux colorés de Newton, vus par réflexion, est la suivante :

1^{re} Anneau. Gris bleuâtre, blanc verdâtre, jaune paille clair, jaune brun, orangé, rouge.

2° *Anneau*. Pourpre, violet, indigo, bleu de ciel, vert clair, jaune, orangé, rouge.

3° *Anneau*. Pourpre, violet, indigo, bleu, vert de mer, vert, jaune fauve, vert jaune, couleur de chair.

4° *Anneau*. Pourpre pâle peu saturé, vert bleu mat, vert, vert grisâtre, couleur de chair.

Les systèmes d'anneaux suivants offrent des teintes vert bleuâtre mat, et rouge de chair, et deviennent de plus en plus pâles.

Cette perte de saturation est due à ce que les éléments du blanc s'ajoutent de plus en plus dans les maxima d'éclairage, jusqu'à ce qu'enfin leur prédominance noie et détruit toute teinte spéciale.

Ce n'est que pour rappeler les expériences de Newton que nous avons fait usage d'une lentille convexe et d'un verre plan ; mais il est évident qu'il peut y avoir génération de couleurs par la simple superposition de deux verres plans, comme on l'observe souvent en appliquant deux glaces l'une sur l'autre. La nature de la teinte dépend également alors de l'épaisseur de la couche d'air interposée, mais comme celle-ci est partout la même, la nuance sera uniforme.

Voyons maintenant ce que devient la lumière qui traverse les plaques transparentes.

Soit *ao* (fig. 32) un rayon prêt à pénétrer dans la mince couche d'air *dofc*, emprisonnée entre les deux glaces planes A et B. Soit *ob* le premier rayon réfléchi, *cde* le second. Il est évident que la totalité du rayon *cd* ne retournera pas dans la glace

•

supérieure ; une fraction de sa lumière subit une seconde réflexion ; le rayon deux fois réfléchi pénètre, en *f*, dans la seconde glace et peut interférer avec

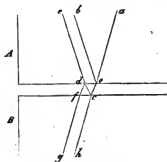


Fig. 32. — Trajet de la lumière à travers les plaques transparentes.

le rayon *ch* qui n'a subi aucune réflexion et n'a été que deux fois réfracté en *o* et en *c*.

La différence de route est égale à *cdf*. Or *oc* = *df*, comme droites parallèles comprises entre parallèles ; d'où *cdf* = *ocd* ; en d'autres termes, la différence des chemins

parcourus par *fg* et *ch* est égale à celle des rayons *ob* et *de*, dont nous avons étudié les conditions d'interférence.

En supposant *ocd* = 1 longueur d'onde, nous avons vu que *ob* et *de* se neutralisent, puisqu'en raison des réflexions de nature opposée qu'ils ont subies, ils sont dans des états opposés. Quant au rayon *cdfg*, comparé à *ch*, il a aussi parcouru une longueur d'onde de plus, mais son état est le même ; les deux réflexions qu'il a subies à son double passage de l'air dans le verre s'ajoutant pour produire un retard d'une longueur

(1) D'après les lois de la réfraction, on voit facilement que *ch* est parallèle à *oa* et n'a subi qu'une légère déviation dépendant de l'épaisseur de la couche d'air. (Note du traducteur.)

d'onde, l'interférence de *fg* et *ch* produit, par conséquent, une addition de lumière.

Nous pouvons déduire de là la conséquence suivante : lorsque la lumière blanche tombe sur une couche d'air mince, d'une épaisseur déterminée, chacune de ses parties constitutives homogènes est d'autant mieux représentée dans la partie émergente, qu'elle est plus affaiblie dans la partie réfléchie, et inversement. En d'autres termes, la lumière émergente offrira toujours une teinte complémentaire de celle qui est réfléchie. Avec l'appareil de Newton, à chaque système d'anneaux du premier ordre ou par réflexion, doit correspondre un système du second ordre, par transmission, offrant des teintes complémentaires correspondantes. C'est, en effet, ce que l'expérience confirme ; seulement les anneaux de second ordre sont plus pâles que les premiers. En effet, l'intensité de l'impulsion du rayon deux fois réfléchi est toujours beaucoup plus faible que celle du rayon simplement réfracté ; il ne peut donc jamais produire une annulation complète ou comparable à celle des deux rayons qui produisent les interférences du premier ordre.

Avec l'appareil de polarisation qui donne, avec des milieux biréfringents de diverses épaisseurs, la même succession de couleurs que les anneaux de Newton, il est, au contraire, facile de produire la série des compléments correspondants aux anneaux réfléchis de Newton.

Nous renvoyons, à ce sujet, le lecteur à la descrip-

tion du schistoscope que nous avons donnée au § 5, fig. 5.

Dans ce cas, en effet, la partie du champ qui, sans l'intervention de la plaque de gypse, paraîtrait blanche, offre, avec le concours de cette dernière, une des couleurs des anneaux Newtoniens du second ordre, tandis que la partie obscure (sans plaque de gypse) présente la couleur complémentaire, correspondante à l'anneau par réflexion.

En plaçant dans l'appareil une série de plaques de sulfate de chaux cristallisé, de plus en plus épaisses, on obtient tous les termes de la double série d'anneaux colorés de Newton, dans leur ordre de succession; et comme ces couleurs sont mieux étalées, il est aussi plus facile de les examiner.

Les observations précédentes ne s'appliquent pas seulement à l'air, mais à toute couche mince et transparente, telle que la lumière s'y propage plus lentement ou plus vite que dans les milieux limitrophes.

C'est ainsi qu'on peut expliquer la génération des riches couleurs offertes par les bulles de savon ou par une couche mince d'huile ou d'essence répandue à la surface de l'eau. Les couleurs chatoyantes offertes par la nacre sur sa surface naturelle ou sur une section polie, parallèle aux couches naturelles, dérivent d'une source analogue. Il en est de même des couleurs métalliques, chatoyantes, des plumes d'oiseaux, du paon, des plumes du cou et de la poitrine du pigeon, etc. Ces plumes chatoyantes doivent

leur éclat métallique au concours *simultané* de trois conditions essentielles :

1° La réflexion lumineuse est, en général, intense.

2° La partie brillante est colorée par elle-même.

En d'autres termes, les choses ne se passent pas comme pour une surface colorée quelconque, recouverte d'un vernis incolore, qui laisse passer la lumière colorée diffuse, émise par la partie sous-jacente.

3° La lumière qui pénètre dans les couches plus profondes de la plume, est absorbée par le pigment et ne revient plus en jeu. En un mot, la substance de la plume grise doit être totalement opaque.

Si l'une quelconque de ces conditions n'est pas remplie, on ne voit pas apparaître l'éclat métallique. Ainsi, chez le pigeon blanc, l'opacité n'est qu'incomplète, aussi l'éclat de son cou n'est-il que nacré et non métallique, comme pour la colombe grise.

L'éclat coloré de certaines plumes d'oiseaux est tellement intense qu'on en fait usage pour recouvrir la base des pierres précieuses colorées, vraies ou fausses. Ce soubassement fonctionne alors comme une espèce de tain.

L'irisation des vases métalliques, par voie galvanique, et les couleurs de l'acier trempé sont la conséquence des effets optiques des lames minces. Cette lame est représentée, dans ce cas, par la légère couche d'oxyde dont se recouvre l'acier, sous l'influence de la chaleur, et dont l'épaisseur détermine la nuance. Tant que celle-ci n'est pas une fraction sensible de la longueur d'onde, la réflexion se fait comme sur

l'acier blanc poli. Au delà d'une certaine limite, le retard éprouvé par le rayon réfléchi par le métal et qui a traversé l'oxyde, par rapport à celui qui a été réfléchi à la surface externe de l'oxyde, devient sensible, les sinuosités des deux lignes onduleuses qui représentent les impulsions ne se correspondent plus, l'interférence commence. La nuance passe successivement par le jaune-clair, le brun-clair, le pourpre et le bleu (1).

On trouve souvent, sur des verres antiques, des couleurs chatoyantes d'une remarquable beauté et d'un éclat métallique très-prononcé. On les désigne, bien qu'à tort, sous le nom de *verres oxydés*. En effet, la cause productrice ne dérive pas d'un oxyde déposé à leur surface, mais d'une véritable exfoliation éprouvée par les couches externes, sous l'influence du temps et des agents atmosphériques. Les lamelles ainsi produites sont séparées par des couches d'air interposé. Il en résulte des réflexions multiples et, par suite, l'interférence des rayons, comme dans l'expérience de Newton.

On a supposé que les anciens verriers possédaient un secret pour réaliser, à volonté, de semblables effets; mais je ne puis admettre cette manière de voir. Quoi qu'il en soit, les couleurs ont une telle beauté,

(1) Nous rappelons, à ce sujet, que les teintes variables que prend l'acier suivant qu'on le chauffe plus ou moins fort pour le recuire, suivant, par conséquent, que la couche d'oxyde devient plus ou moins épaisse, servent à guider l'ouvrier dans le degré de trempe qu'il veut donner à l'acier. (Note du traducteur.)

qu'au premier coup d'œil on a peine à croire qu'elles ne sont dues qu'à une influence destructive et non à un embellissement prémédité, d'autant plus qu'elles surpassent de beaucoup ce que nous observons avec des verres modernes en voie d'altération. On hésite donc à les considérer comme une simple phase ultérieure des modifications plus récentes auxquelles nous assistons.

Mais il ne faut pas perdre de vue la longue durée d'action des causes perturbatrices, ainsi que les progrès que la théorie et l'expérience ont apportés dans la fabrication du verre, en le rendant beaucoup moins altérable.

J'ai, du reste, eu l'occasion d'observer ces couleurs dans toute leur beauté, sur les surfaces de cassures d'anciens fragments de verre du musée autrichien. Il ne me reste donc aucun doute sur l'origine commune de toutes celles qu'offrent les nombreux échantillons de cette collection.

Il est vrai que l'on peut supposer que la modification colorante a été effectuée dans toute la masse du verre et qu'il n'est pas étonnant de la retrouver sur les cassures.

Cette objection n'est pas sérieuse et ne viendra pas à l'esprit de quiconque est familier avec l'examen de ces verres; elle tombe du reste devant ce fait que ces mêmes verres offrent des surfaces de rupture, évidemment plus récentes, qui n'ont aucune apparence colorée.

L'exfoliation se poursuit souvent assez loin, pour

que les lamelles extérieures puissent se détacher avec leurs couleurs propres, sous forme de paillettes ou d'écailles, en laissant une surface incolore et transparente. Ces écailles se prêtent très-bien, en raison de leur ténuité, aux observations microscopiques. Elles sont tantôt unies, tantôt rugueuses, avec des bosselures serrées et vésiculaires et présentent, comme les verres de Newton, dans la lumière transmise, les couleurs complémentaires de celles qu'elles réfléchissent. En ajoutant de l'eau, on la voit pénétrer entre les lamelles et chasser l'air interposé, sous forme de bulles.

Les couleurs de l'opale appartiennent aussi au groupe des couleurs d'interférence. Bien qu'un des savants physiciens les plus distingués de notre siècle se soit occupé de cette question, on ne connaît pas encore d'une manière exacte la structure des parties qui, dans cette pierre précieuse, réfléchissent les rayons dont l'interférence produit les effets colorés.

Le principe des interférences joue certainement, aussi, un rôle important dans la genèse des couleurs spéciales, à éclat métallique, que maître Giorgio de Gubbio a fixées sur un si grand nombre de *majoliques*, mais on ignore encore la manière dont ces effets ont été réalisés.

§ 10. — Des Couleurs des milieux troubles.

Les couleurs des milieux troubles, connues de Léonard de Vinci et en partie aussi d'Aristote, ont vi-

vement et pendant longtemps excité l'attention des savants. En effet, Goethe avait cherché à en tirer une théorie de la production des couleurs. Bien que ses idées ne soient pas soutenables, il n'en est pas moins vrai que beaucoup des faits observés à cette occasion sont exacts et présentent une valeur intrinsèque durable et réelle.

L'ensemble des phénomènes de cet ordre peut se résumer dans la proposition suivante :

Lorsqu'un milieu transparent, qu'il soit liquide, solide ou gazeux, renferme des particules d'un autre milieu, dans lequel la lumière se propage plus vite ou plus lentement, il devient trouble. Si la couche est assez épaisse et si le nombre des particules est assez grand, le trouble se change en une complète opacité.

La lumière incidente subit, dans son passage à travers le milieu trouble, de si nombreuses réflexions à la surface des particules étrangères, qu'il finit par n'en plus rester à l'émergence.

Si les particules sont très-petites et si le trouble n'est pas poussé jusqu'à l'opacité, on voit apparaître des couleurs.

Ainsi, avec un trouble peu intense, le milieu placé devant un fond éclairé laisse passer une lumière brunnâtre. Une source de lumière, un bec de gaz, par exemple, semble plus rouge-jaunâtre que si le milieu était clair. Pour un trouble plus grand, la couleur de la flamme passe au rouge. De semblables milieux, colorés à la lumière transmise, le sont aussi

à la lumière réfléchie, lorsqu'on les étale en couche qui n'est pas trop épaisse, sur un fond obscur. Ainsi, du lait étendu d'eau, coulé en couches minces sur un fond noir, reflète une nuance bleutée.

Les effets les plus grandioses et les plus délicats offerts par la nature, dérivent de cette cause.

Tels sont : le bleu du firmament, la coloration rouge du ciel ou des glaciers alpestres, au coucher et au lever du soleil ; la couleur feu du soleil vu à travers un brouillard du matin, celle de la pleine lune à son lever.

Ce sont les particules troublantes, tenues en suspension dans notre atmosphère, qui produisent ces manifestations.

De même, l'œil le plus bleu ne présente pas trace de pigment bleu. L'effet produit résulte de ce que le tissu translucide de l'iris est tendu sur un fond noir. Ainsi encore la coloration bleue des veines, observée chez les personnes délicates, est la conséquence de la demi-transparence des membranes qui sont appliquées sur un fond relativement obscur, le sang veineux.

Les lois de production de couleurs par les milieux troubles permettent d'expliquer l'influence du fond de la toile sur les couleurs employées en peinture.

Des couleurs claires, étendues en couches minces, non suffisamment couvrantes, sur un terrain foncé, prennent une teinte bleuâtre, et, comme on dit, froide. Elles opèrent dans ce cas comme milieux

troubles, et le bleu qui en résulte s'ajoute à leur nuance propre.

Les peintres connaissent très-bien cette influence d'un fond obscur sur une couleur claire superposée, aussi se gardent-ils bien de salir les parties réservées aux clairs par des couleurs foncées, de peur de se susciter de graves difficultés ; à moins, toutefois, qu'ils ne cherchent, comme l'ont fait certains maîtres et leurs nombreux imitateurs, à tirer parti de ce phénomène pour réaliser un but spécial.

Lorsqu'on dessine sur un papier brun, en superposant du blanc pour les parties claires, il faut se garder de se placer dans des conditions où celui-ci agirait comme milieu trouble. On produirait une teinte différente de celle du fond et qui détruirait l'harmonie du dessin.

Le coup de crayon doit être ferme et assuré, et lors même qu'on applique le blanc à l'état liquide, il n'est pas permis de produire les dégradations en lavant la couleur, comme cela se pratique pour le dessin au lavis. On réalise les fondus par une série de traits plus ou moins larges et espacés, dont chacun est réellement blanc. L'effet n'est alors produit que par la fusion sur la rétine, du blanc et du brun du fond.

La couche de vernis appliquée sur les tableaux peut, dans certains cas, opérer comme milieu trouble et paraître bleue sur les teintes foncées. On trouve souvent, dans les bibliothèques et les couvents, des tableaux suspendus depuis de longues

années, sans voir été reverniss. Les objets y sont peu distincts et les parties sombres sont couvertes, par places, de taches bleuâtres lavées, occupant souvent une large superficie de la toile. Une observation attentive montre qu'elles dérivent d'une multitude innombrable de petites fentes imperceptibles, formées dans le vernis, et donnant à celui-ci les qualités des milieux troubles.

En lavant la toile, on fait pénétrer peu à peu l'eau dans les fissures. La tache bleue disparaît et les couleurs sous-jacentes deviennent visibles.

Ces plaques bleuâtres ressemblent à des taches de moisî, et on les a prises comme telles, pensant que l'eau enlevait les moisissures; mais il suffit de remarquer que l'amélioration provoquée par le lavage disparaît dès que la dessiccation est survenue, pour être convaincu de la fausseté de cette opinion.

En recouvrant avec précaution la toile altérée, d'une couche d'essence de térébenthine, puis, lorsque celle-ci a pénétré dans les fissures, d'une couche de vernis au mastic qui s'introduit également dans les fissures à la suite de l'essence, les vides seront remplis d'une manière permanente et les taches ne reparaitront plus.

Le procédé si justement apprécié de Pettenkofer, pour la régénération des anciens tableaux, agit d'une manière analogue, mais avec plus de régularité encore.

Ce chimiste expose la toile aux vapeurs froides de l'alcool; elles sont absorbées par le vernis qui se

ramollit et prend la consistance d'un baume. Les parois des fissures se gonflent, se rejoignent et finissent par se souder, de manière à former une surface unie et transparente, après l'évaporation de l'alcool.

La cause des couleurs offertes par les milieux troubles est comme pour les couleurs chatoyantes, un acte d'interférence. Il existe cependant entre ces deux ordres de phénomènes une différence importante. Pour une couleur chatoyante, les deux réflexions qui amènent les faisceaux lumineux en conflit, se font partout à la même distance, et déterminent une différence de route constante, de la grandeur de laquelle dépend la nuance.

Dans les milieux troubles, au contraire, les deux ordres de réflexions ayant lieu l'un à la surface antérieure, l'autre à la surface postérieure de la particule troublante, les distances qui les séparent dépendent de l'épaisseur variable, mais toujours très-petite, de ces particules mêmes. Rappelons-nous la théorie de la génération des anneaux colorés de Newton, que nous avons donnée au paragraphe précédent.

Soient, *ab* la particule troublante, *dc* le rayon incident, *cf* et *cehg* les deux rayons réfléchis, l'un à la face d'entrée, l'autre à la face de sortie. Ces rayons, dont la figure exagère l'écart, doivent être supposés comme suivant des routes assez voisines pour qu'il puisse y avoir interférence, c'est-à-dire addition ou soustraction d'impulsions. Supposons que la masse *ab* soit de nature à propager la lumière plus vite ou plus lentement que le milieu ambiant, nous aurons

toujours deux réflexions de nature opposée. Dans la première, la lumière passe d'un milieu où elle se



Fig. 33. — Génération des couleurs des milieux troubles.

propage plus lentement, dans un milieu où elle se propage plus vite; dans la seconde, elle passe d'un milieu où elle se propage plus vite dans un milieu où elle se propage plus lentement, ou *vice versa*.

Si *ab* est infiniment petit, la différence de route *ceh* du second rayon devient insensible, et peut être négligée; les deux rayons réfléchis se neutralisent en totalité, car ils sont en retard l'un par rapport à l'autre d'une demi-longueur d'onde, par le fait de la nature opposée de leur réflexion.

En tenant compte de ce qui a été dit au sujet des anneaux de Newton, du second ordre ou par transmission, nous pouvons en conclure qu'il n'y a pas de rayon réfléchi apparent, et que le rayon *dce* se transmet, sans modification de couleur, à travers le milieu trouble.

A mesure que la particule troublante augmente de dimensions, la destruction réciproque des deux rayons réfléchis devient de moins en moins complète et il arrive un moment, lorsque la différence des chemins parcourus est égale à une demi-longueur d'onde, où les deux rayons ajoutent leurs impulsions en totalité. La lumière réfléchie par la particule atteint son maximum de clarté.

Mais les longueurs d'ondes des diverses espèces de lumières ne sont pas égales; par conséquent, pendant l'accroissement de la particule troublante, l'excédant de chemin *ceh*, parcouru par le second rayon, ne se rapproche pas simultanément et également des demi-longueurs d'ondes de toutes les lumières. Tant que les particules resteront suffisamment petites, l'éclat des lumières à courtes ondulations l'emportera sur celui des lumières à longues ondulations; si le nombre de ces particules très-petites est considérable, comme cela arrive dans les milieux troubles, la quantité des lumières violettes, bleues et vertes, dont l'ensemble forme le bleu, prédominera beaucoup dans la lumière réfléchie, par rapport à celle des lumières rouges, jaunes et orangées, à ondulations longues.

Ces considérations nous rendent compte de la teinte bleuâtre de couches translucides de ces milieux, placées sur un fond obscur.

A mesure que la couche augmente d'épaisseur, la prédominance du bleu dans la lumière réfléchie diminue. La lumière qui a pénétré dans la profondeur, privée de ses lumières à courtes vibrations, est devenue jaune ou jaune rougeâtre, et ne peut plus fournir à la réflexion, un excédant de bleu. Le bleu du milieu trouble s'éclaircit, passe au blanc bleuâtre et finit par sembler tout à fait blanc par réflexion, avec une épaisseur de couche suffisante. Ainsi, le ciel est bleu foncé au zénith et blanc bleuâtre, clair, presque blanc à l'horizon. Dans le second cas, en

effet, la couche atmosphérique à travers laquelle nous regardons est plus épaisse que dans le premier. En portant notre attention sur la lumière transmise par les milieux troubles, et en nous appuyant sur ce fait, évident par lui-même, que la portion réfléchie doit nécessairement manquer dans la portion transmise, nous concevons, *à priori*, que la lumière transmise par un milieu trouble moyennement épais, est jaunâtre. A mesure que l'épaisseur augmente, elle perd, par réflexion, une proportion de plus en plus grande des lumières à durées vibratoires courtes, la partie transmise passe du jaune à l'orangé et enfin au rouge. Ces prévisions sont pleinement confirmées par l'expérience.

Les couleurs du soleil levant ou couchant nous montrent ce phénomène sur une grande échelle. L'expérience en petit peut être faite en versant goutte à goutte dans de l'eau une solution de 1 partie de mastic dans 87 parties d'alcool, et en agitant vivement. La résine se sépare sous forme d'un précipité très-ténu qui reste longtemps en suspension. En regardant une source lumineuse à travers une couche mince de ce milieu, elle paraît colorée en jaune, et en rouge avec une couche plus épaisse.

L'explication (1) que je viens de donner de la

(1) E. Brücke, *Ueber die Farben, welche trübe Medien im auffallenden und durchfallenden Lichte zeigen.* (Sitzungsberichte der mathematisch-naturwissenschaftlichen Classe der Wiener Akademie der Wissenschaften, 1852, Juli, Poggendorff's Annalen der Physik und Chemie, t. 88, p. 363.)

production des couleurs dans les milieux troubles nous montre en même temps que tout milieu trouble n'est pas apte à les engendrer. Les particules doivent être très-petites pour qu'elles agissent efficacement. Le soleil perce tantôt à travers une couche de brouillards, avec une couleur blanche ; d'autres fois son disque, dépourvu de rayons, semble rouge de feu.

§ 11. — Du blanc.

Les effets du blanc se rattachent à ceux des milieux troubles, en ce sens que les pigments blancs dont nous nous servons, agissent plus ou moins comme de semblables milieux. Si la couche de blanc est assez épaisse et assez couvrante, elle se comporte comme un milieu trouble opaque. Ces pigments sont généralement des corps incolores dans un grand état de division, qui, en raison de leur densité, déterminent un ralentissement notable de la marche du flux lumineux, et provoquent, par cela même, de fortes réflexions, tant sur la surface d'entrée que sur celle de sortie. Plus l'influence retardatrice est énergique, plus la quantité de lumière renvoyée par chaque particule est grande, plus aussi le blanc est couvrant. On entend par là que la couche nécessaire pour réfléchir toute la lumière incidente avant qu'elle n'ait atteint le fond sous-jacent, et ne se soit modifiée par ce contact d'une manière sensible à notre œil, est d'autant moindre.

Des corps transparents, dans lesquels la lumière se propage moins lentement, peuvent, à l'état de poudre impalpable, constituer des blancs assez bons, pourvu qu'ils ne soient pas incorporés à de l'huile ou à du vernis. Mais ils sont inapplicables en concours avec ces véhicules. En effet, la matière empâtante, une fois sèche, propage la lumière presque aussi lestement que la poudre elle-même. Les réflexions produites aux passages de la lumière du vernis dans la particule de pigment et de celle-ci dans le vernis sont trop faibles pour produire un résultat sensible.

Le carbonate de chaux nous offre un exemple d'un semblable produit; aussi ne peut-il servir dans la peinture à l'huile, mais seulement dans celle des fresques (1) et comme enduit. On estimait beaucoup pour la peinture avec les couleurs à l'eau, le véritable blanc de perles, préparé avec des perles défectueuses et de la nacre de perles. Ces deux produits sont essentiellement formés de matières organiques et de carbonate de chaux. L'usage du blanc de perles n'a

(1) Le blanc dit de Saint-Jean que Cennino Cennini (*Trattato della pittura*, ed. Gius. Tambroni; Rom., 1821, p. 47), considère comme indispensable à la peinture des fresques, n'est autre chose que du carbonate de chaux en poudre très-fine. Voici, en effet, la recette donnée pour sa préparation : Prends de la chaux défilée bien blanche (*sfiorato*, c'est-à-dire effleurie, qui a attiré l'humidité et l'acide carbonique de l'air, et s'est éteinte spontanément), introduis-la en poudre dans un vase, dans lequel tu verseras tous les jours une certaine quantité d'eau claire, en remuant bien, afin qu'elle repousse toute graisse (c'est-à-dire afin que les substances solubles avec lesquelles elle est mélangée, ainsi que les particules de chaux vives soient éloignées). Formea-

jamais pu être introduit dans la peinture à l'huile ; il couvre en effet très-mal en mélange avec de l'huile ou du vernis. Dans les couleurs à l'eau, on emploie assez peu de substance agglutinative. Les particules de pigment peuvent s'appliquer les unes sur les autres, et ne sont pas emprisonnées dans le véhicule desséché, comme dans les couleurs à l'huile ou au vernis.

Si l'on emprisonne les particules de blanc de perles dans de la gomme ou tout autre masse liante, soluble dans l'eau, de manière à reproduire les effets qui résultent de la dessiccation des couleurs à l'huile ou au vernis, on lui fait perdre une partie de son pouvoir couvrant. Néanmoins la diminution n'est pas aussi grande qu'avec le vernis au copal, par exemple. En effet, la vitesse de propagation de la lumière dans la nacre de perle, est à celle dans la gomme arabique dans le rapport de 100 à 109.

Pour la nacre et le copal, ce rapport est égal à $\frac{100}{106}$. C'est à une différence numérique de ce genre

en des pains, mets-les sur le toit au soleil pour les sécher ; plus ces pains sont vieux (*c'est-à-dire plus la carbonatation par l'atmosphère est complète*), plus le blanc sera de qualité supérieure. Veux-tu préparer la couleur blanche avec succès et rapidité, broie-les après dessiccation avec de l'eau, sèche de nouveau et répète ces opérations deux fois. (*La transformation de la chaux en carbonate est activée par la division et par l'influence de l'eau.*) Cennino Cennini ajoute formellement : « *e mai non vuole tempera nessuna.* » On n'a jamais à ajouter de liant. Cennino Cennini fut pendant douze ans le disciple d'Angelo di Taddeo, élève lui-même de son père Taddeo. Ce dernier fut le fils de et durant vingt-quatre ans l'élève du Giotto.

qu'il faut attribuer le pouvoir couvrant intense de la céruse, dans la peinture à l'huile. La lumière s'y propage avec une telle lenteur, que même avec l'huile ou les vernis, la différence de marche de la lumière dans les particules et dans le milieu ambiant est assez grande pour permettre un bon recouvrement.

Aussi n'est-ce pas en raison de qualités couvrantes supérieures qu'on a cherché à lui substituer, dans ces derniers temps, le blanc de zinc ou oxyde de zinc. Les motifs des tentatives faites dans ce sens sont d'un tout autre ordre. Chaque praticien les connaît (1). L'usage de blanc de céruse dans la peinture à l'eau, ne se justifie pas autant par la beauté des résultats; d'un côté la couleur n'étant plus protégée par le vernis, est infiniment plus sujette à s'altérer sous l'influence de l'hydrogène sulfuré répandu dans l'atmosphère, aussi devient-elle successivement jaune, brune et enfin noire. D'autre part, il est plus facile de la remplacer dans cette application par d'autres pigments blancs moins altérables, par le blanc de perle, le blanc fixe sulfate de baryte.

(1) La raison hygiénique est la principale cause de l'accueil favorable qu'a trouvé le blanc de zinc dans le monde scientifique. Cet accueil n'a pas été aussi empressé de la part des praticiens. Pendant longtemps ils ont refusé et ils refuseront encore d'acheter la santé de leurs ouvriers aux dépens d'une perte dans la qualité couvrante des blancs qu'ils emploient. Voyez E. Bouchut, *Mémoire sur l'industrie et l'hygiène de la peinture au blanc de zinc*, (*Annales d'hygiène*, 1852, 1^{re} série, t. XLVII, p. 5.) (Note du traducteur.)

Comme de petites masses transparentes enclavées et accumulées dans un milieu, qui propage la lumière plus vite ou plus lentement qu'elles, renvoient toujours par réflexion une grande quantité de lumière non modifiée, quelle que soit du reste leur forme, on comprend que les filés et les tissus paraissent blancs tant que la substance de chaque fil est incolore et transparente.

Le blanchiment des fibres textiles n'a d'autre but que d'éliminer les matières colorées qu'elles contiennent ; on arrive à cette fin soit par des moyens chimiques, soit par l'influence simultanée de la lumière et de l'air (blanchiment naturel). Bien souvent il reste, malgré toute l'énergie des actions mises en œuvre, une teinte colorée. On neutralise cette nuance désagréable en colorant la fibre très-légèrement avec une couleur complémentaire de celle qui domine.

On diminue ainsi l'éclat du tissu, mais, au moins, la partie de la lumière réfléchie est-elle tout à fait blanche ; et comme pour nous la notion de clarté et de blanc est très-intimement unie, la couleur semblera éclaircie par suite d'une véritable illusion.

Cette interprétation s'applique aussi à certains coups de mains dans l'art de la teinture en blanc, si perfectionné de nos jours ; coups de mains dont la recette se transmet çà et là comme secret de famille, de génération en génération.

L'azurage des tissus nous offre la première et la plus élémentaire des applications de ce principe, on

neutralise par le bleu la teinte jaunâtre de la fibre, que le blanchiment a été impuissant à enlever.

§ 12. — Des couleurs des métaux réguliers (1).

Les métaux possèdent, au point de vue chromatique, une propriété commune. Ils ne réfléchissent pas, comme les pigments, deux espèces de lumières, l'une superficielle, l'autre profonde ; cette dernière produisant la couleur spécifique du pigment. Toute la lumière renvoyée par les métaux est superficielle, au moins en prenant ce terme dans le sens ordinaire, sans une rigueur absolue. C'est pour cette raison que l'éclat des métaux colorés est lui-même coloré. Si je recouvre une surface mate, blanche, avec un vernis coloré brillant, si je place l'objet entre mon œil et la fenêtre, de façon à recevoir principalement la lumière réfléchie à la surface luisante du vernis, je la trouve incolore, comme l'est du reste aussi la lumière réfléchie à la surface d'un liquide coloré.

En changeant la position de la surface, je verrai la couleur du vernis se saturer d'autant plus, que la

(1) L'étude de la formation des couleurs métalliques ne se prête pas au cadre d'un traité destiné aux gens du monde. Je dois donc renvoyer le lecteur, désireux de pénétrer plus profondément dans le côté scientifique de cette question, au mémoire si remarquable de M. Jamin. « *Sur les couleurs métalliques.* (*Annales de chimie et de physique*, 3^e série, t. XXII, p. 311, et dans *Poggendorff's Annalen der Physik und Chemie*, t. 74, p. 528.)

proportion de lumière diffuse, réfléchiée par les parties profondes, l'emporte davantage sur la lumière superficielle.

Les choses ne se passent pas ainsi avec les métaux colorés ; chez eux la lumière réfléchiée à la surface, c'est-à-dire celle qui produit l'éclat, est également colorée. En d'autres termes, et d'une manière plus juste, le métal poli n'a pas d'autre couleur que celle de son éclat. Les métaux partagent l'éclat coloré avec les corps chatoyants, mais chez ceux-ci, la couleur change d'une manière frappante, avec l'incidence ; c'est pour cette raison qu'on les appelle chatoyants (§ 9).

Aussi quand nous disons que la base du cou du pigeon a un aspect métallique, nous ne pouvons néanmoins pas confondre cette couleur avec celle des véritables métaux. Pour ceux-ci la variation dans l'angle d'incidence peut changer la clarté et la saturation, mais elle est impuissante à changer le jaune en vert, le vert en bleu, le bleu en rouge, etc.

L'identité de la couleur de l'éclat avec celle du métal détermine, avec le concours de deux autres conditions ou propriétés (§ 9), l'éclat propre et spécifique des métaux.

Les deux conditions auxquelles nous venons de faire allusion, sont : l'opacité complète et le pouvoir réflecteur intense.

On peut démontrer que tout corps qui réunit les trois propriétés précédentes, possède réellement l'éclat métallique, même quand nous savons très-bien

qu'il n'est nullement métallique par sa composition (1).

Une grande puissance réfléchrice, est le facteur le plus important de la valeur du métal, notamment de l'or, comme partie constitutive des compositions chromatiques.

Nous avons vu plus haut que l'intensité d'une couleur dépend de deux causes : la saturation et la clarté. La saturation n'est pas très-grande dans les conditions ordinaires, même pour les métaux les plus fortement colorés, comme l'or et le cuivre. Elle est même très-faible sous des incidences obliques, mais ils rachètent en clarté ce qu'ils perdent en saturation. En plaçant une lame d'or poli entre l'œil et la source de lumière, de façon que les rayons qui tombent sur la rétine aient subi une réflexion, sous un angle de près de 180° , comme le montre la figure 34, la surface métallique paraît blanche. Ce n'est



Fig. 34. — Réflexion métallique avec faible saturation sous une incidence rasante.

qu'en diminuant la valeur de l'angle d'incidence (fig. 35) que l'on voit apparaître la belle couleur jaune de l'or ; celle-ci atteint son maximum d'intensité pour un angle d'incidence nul, après une seule

(1) E. Brücke, *Ueber den Metallglanz*. (Sitzungsberichte der mathematisch-naturwissenschaftlichen Classe der Kaiserl. Academie der Wissenschaften in Wien, Bd. 53, Abtheil. 2, 177.)

réflexion. La saturation de cette couleur peut être notablement élevée par des réflexions multiples, comme cela arrive lorsqu'on regarde dans l'intérieur d'un gobelet poli, en vermeil.

On a réalisé une foule d'expériences sur la réflexion



Fig. 35. — Réflexion métallique avec une grande saturation, sous un faible angle d'incidence.

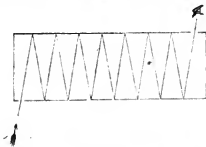


Fig. 36. — Réflexion métallique multiple.

métallique multiple. A cet effet, on fait réfléchir, un nombre connu de fois, le rayon lumineux entre deux plaques métalliques polies, avant de le laisser pénétrer dans l'œil, comme le montre la figure 36.

On a trouvé ainsi que les couleurs ne sont pas seulement plus saturées, mais que leur position sur le cercle chromatique est changée.

Le cuivre prend, alors, une teinte rouge foncé et tellement saturée, que la lumière décomposée par un prisme est presque monochromatique.

On explique de cette manière le fait suivant, bien connu des artistes ornementistes, à savoir que l'or appliqué sur une surface concave, donne plus de couleur

et moins de lumière; que sur une surface convexe il donne, à l'inverse, plus de lumière et moins de couleur. Ce sont surtout les convexités très-saillantes qui conduisent aux éclats blanchâtres analogues à ceux qui dérivent d'une incidence rasante. (Voir fig. 34.)

On rend l'or plus rouge en l'alliant au cuivre, et plus verdâtre par une addition d'argent.

Pour rendre à l'or, allié au cuivre, par raison d'économie, la belle couleur jaune du métal pur, on le trempe à chaud dans l'acide azotique. Le liquide corrosif dissout les particules de cuivre des couches superficielles, sans toucher au métal noble.

Les diverses nuances, que peut prendre l'or allié à d'autres métaux, donnent une nouvelle preuve de la grande intensité appartenant aux couleurs métalliques, en raison de leur puissance réflexive, même avec un état de saturation faible. Ainsi des images composées avec de l'or, différemment nuancé, tels que des fleurs rouges, avec des feuilles vertes, sur un fond jaune, produisent un effet d'opposition impossible à réaliser avec d'autres pigments, dont les nuances seraient aussi voisines.

L'or est blanchi ou au moins pâli par une addition simultanée de cuivre et d'argent.

Par son alliage avec le fer il passe au bleu, ou plutôt au gris (1).

On ne considère généralement, comme colorés,

(1) L. Moreau, *Traité spécial à la bijouterie*. Paris, 1863.

que : l'or, le cuivre et les alliages colorés de cuivre : laiton, bronze, etc. ; mais, en réalité, presque tous les métaux le sont plus ou moins. L'acier seul reste blanc, même après des réflexions très-multipliées. Le zinc est bleuâtre, l'argent jaune orangé.

Cette teinte orangée est peu perceptible après une seule réflexion, et, grâce à la puissance réfléchissante très-considérable de ce métal (il réfléchit $\frac{1}{3}$ de lumière en plus que l'alliage des glaces), elle est loin de nuire à sa beauté et à ses applications artistiques (1). Elle donne au contraire plus de chaleur à la couleur blanche dominante, et nous la fait préférer au blanc pur de l'acier poli, ou au blanc bleuâtre du zinc ; mais elle gêne dans l'emploi de l'argent pour la préparation des glaces par voie chimique, ceux qui s'en servent ne se soucient pas de voir la teinte du visage altérée par du jaune.

La couleur des métaux est plus uniformément répandue à leur surface, lorsqu'ils sont mats, que lorsqu'ils sont polis.

Un métal paraît mat quand sa surface réfléchissante n'est pas continue. Les facettes de réflexion sont très-petites et disposées irrégulièrement, les unes par rapport aux autres ; la lumière n'est plus renvoyée dans une seule et même direction, mais éparpillée irrégulièrement, dans tous les sens. Il existe plusieurs degrés de mat, dépendant des di-

(1) Depuis quelques années on est parvenu à régulariser le procédé de Liebig pour fixer l'argent en guise de tain, par la réduction d'un sel d'argent par l'aldéhyde. (Note du traducteur.)

mensions des facettes et de leurs positions respectives. Le mat des orfèvres ne représente pas la dernière limite que l'on puisse atteindre. Les métaux conservent généralement un léger reflet, une trace d'éclat, afin de produire un effet plus favorable; tandis que par les procédés galvanoplastiques, il est possible d'obtenir des couches d'argent aussi blanches et aussi peu éclatantes qu'une feuille de papier.

Dans le but de les préserver des influences extérieures, on recouvre souvent les métaux d'une couche transparente, formée, tantôt d'une masse vitreuse, comme pour les fonds dorés des mosaïques, tantôt d'une espèce de vernis. Une semblable couverture, quelle que soit du reste son utilité, ne peut qu'affaiblir les propriétés chromatiques du métal; une partie de la lumière incidente blanche est, en effet, réfléchie à la surface de la couverture et ce n'est que la portion qui pénètre jusqu'à la surface du métal, qui subit la véritable réflexion métallique. Quelquefois on emploie la couverture pour modifier la couleur du métal. Ainsi les mécaniciens vernissent les instruments en laiton avec un vernis à la gomme laque, auquel ils ajoutent du sang-dragon, afin de donner à l'alliage un ton plus chaud, plus voisin de celui de l'or.

De même, on imite les applications d'or dans la fabrication des cadres, en remplaçant ce métal par de l'argent recouvert d'un vernis jaune rouge. L'argent donne lieu à la réflexion intense propre aux métaux et la lumière est colorée en jaune par son double passage à travers le vernis.

Enfin, on peut appliquer, sur un métal poli, diverses espèces de couleurs transparentes ou de flux vitreux colorés et transparents, et produire des effets déterminés, en utilisant la sorte réflexion métallique. C'est sur cette dernière méthode que repose la fabrication de l'émail transparent; car aucune autre ne permet de réaliser des couleurs par réflexion aussi intenses. D'un côté on utilise la grande puissance réfléchissante d'un métal, tel que l'or et l'argent; d'autre part, la nature de certains flux vitreux permet de colorer, jusqu'à saturation, la lumière réfléchie par le métal, malgré la perte plus ou moins grande en clarté. Comme la couleur de l'argent est assez voisine du blanc pur, les flux vitreux qu'on y applique dans l'émaillage apparaissent avec leur couleur propre. Il n'en est plus de même avec l'or; la nuance de la couverte est, dans ce cas, modifiée par la teinte jaune de la lumière réfléchie par le métal sous-jacent.

Le vert prend alors un lustre particulier, un reflet jaune verdâtre qu'il est impossible de réaliser avec le verre et l'émail seuls.

Par contre, le bleu a plus d'éclat sur l'argent que sur l'or. Ce dernier métal affaiblit, en effet, de préférence les lumières qui passent facilement à travers le verre bleu. Aussi les orfèvres ont-ils soin de modifier la teinte propre de l'or selon la nature de la couleur de l'enduit vitreux qu'ils appliquent.

Moreau (1) donne à ce sujet, sous forme de tableaux, une série de règles pratiques. Pour le vert

(1) Moreau, *loc. cit.*

il recommande l'or fin de 20 à 22 karats, c'est-à-dire l'or jaune, de même pour le rouge. Pour le violet, il prescrit l'argent si l'on veut conserver à cette couleur toute sa pureté. Pour le violet *pensée*, on fera usage d'or blanc ; pour un violet plus brunâtre, c'est l'or à 20 karats qui convient le mieux. Le blanc réclame l'argent ou l'or blanc. Le rose pur demande le concours de l'argent ; l'or blanc, l'or jaune et l'or rouge le font passer à la couleur de chair, au jaune rouge et au jaune rouge plus intense. Le jaune pur s'obtient avec l'argent ; le concours de l'or blanc, de l'or jaune et de l'or rouge, le change en jaune orangé, orangé, orangé rougeâtre. Le jaune sur l'or vert produit la teinte feuille morte. Le brun est moins bon sur l'argent que sur les diverses sortes d'or. Le gris s'applique bien sur toute espèce de fond ; on varie la nature de celui-ci selon la nuance que l'on veut réaliser.

§ 13. — Des couleurs par fluorescence.

La lumière n'est qu'une variété de chaleur ; une *chaleur rayonnante apte à agir sur le nerf optique*. Les vibrations des particules du fluide éthéré constituent l'essence de toute chaleur rayonnante, mais toutes les espèces de chaleur ne sont pas aptes à traverser les milieux optiques de l'œil, la cornée transparente, l'humeur aqueuse, le cristallin et le corps vitré ; ou, si elles les traversent, elles ne sont pas

propres à provoquer sur le nerf optique la sensation lumineuse.

Si nous projetons, sur un papier photographique sensible, le spectre fourni par le passage d'un faisceau de lumière, isolé par une fente pratiquée dans le volet d'une chambre obscure, à travers un prisme en flint-glass, nous trouvons que l'image se prolonge du côté du violet bien au delà de la partie éclairée. Ce résultat prouve qu'au delà du violet sensible à l'œil, il existe encore une foule de rayons, à durées vibratoires plus courtes, qui sont plus fortement déviés que lui, et susceptibles d'agir sur les sels d'argent.

En remplaçant le prisme en verre par un prisme en cristal de roche, la partie ultra-violette du spectre augmente encore très-sensiblement. Le verre n'a donc pas laissé passer les rayons d'une manière aussi complète et aussi régulière que le quartz; il se comporte par rapport à eux comme un milieu coloré.

Si nous nous servons d'un prisme en sel gemme, et si nous étudions les diverses parties du spectre, non plus à l'œil ou avec le papier sensible, mais avec des moyens thermométriques suffisamment délicats, nous trouvons des rayons calorifiques étalés bien en deçà de l'extrémité rouge. Ces rayons sont à vibrations plus longues que les rouges, puisqu'ils sont moins déviés de leur route primitive. Bien que nous ne les apercevions pas dans les conditions ordinaires, ils ne sont pas absolument invisibles. Ainsi,

sir David Brewster réussit à en saisir une partie en recevant l'extrémité ultrà-rouge du spectre, non sur un écran, mais dans le tuyau d'une lunette dont les parois étaient garnies de velours noir, et en la regardant directement dans un espace complètement obscur. Les progrès récents de la science ont révélé un artifice permettant de voir facilement les rayons rouges extrêmes au moyen de tout bon spectroscopé. Il suffit d'observer le spectre de la flamme chaude d'un bec de Bunsen, contenant des vapeurs de chlorure de *rubidium*, et de s'arranger de façon à ne recevoir dans le champ visuel que la partie rouge extrême, afin de ne pas être ébloui par le reste.

La vapeur incandescente de rubidium dégage, entre autres, des rayons dont la durée vibratoire est un peu plus grande que celle des rayons qui forment le rouge extrême dans la lumière du soleil. Comme ces rayons ont une intensité assez grande et forment dans l'appareil spectral une bande rouge sur un fond obscur, ils restent visibles, comme le deviennent les rayons ultrà-rouges de la lumière solaire, dans l'expérience de Brewster.

Les rayons ultrà-violet, qui se révèlent à nous par leur action chimique énergique, et l'impression qu'ils laissent sur le papier photographique, sont également susceptibles de devenir visibles.

Les anciens physiciens en avaient déjà entrevu une partie, sous forme d'un léger reflet et leur donnaient en raison de leur couleur, le nom de *gris de lavande*. Plus tard, on les rendit sensibles, à tout un audi-

toire et sur une étendue assez considérable, en projetant dans une chambre obscure le spectre fourni par un prisme creux, rempli de sulfure de carbone, après avoir intercepté la partie normalement visible. On apercevait alors, dans l'obscurité, un reflet lumineux très-pâle. Ajoutons cependant, que dans cette expérience, où l'on fait usage d'un écran en papier blanc, on est induit en erreur par les phénomènes de fluorescence dont nous parlerons dans ce paragraphe. Néanmoins, en remplaçant l'écran par l'inspection au moyen d'une lunette *creuse*, on saisit encore l'impression de ces rayons ultra-violet, quoique sur une étendue moindre que sur le papier, si toutefois on a soin d'écarter du champ visuel la partie réellement éclairante. La visibilité de ces rayons à courtes vibrations varie du reste avec l'observateur et dépend de la sensibilité de la rétine. Nous voyons, d'après ce qui précède, que la faculté des rayons, de provoquer une impression lumineuse au fond de notre œil, ne dépend pas seulement de l'intensité, à savoir de la longueur de la trajectoire parcourue par les molécules vibrantes, mais encore de la durée de la vibration. En deçà et au delà d'une certaine limite de durée vibratoire, les rayons deviennent de plus en plus inaptes à provoquer l'impression lumineuse, et finissent enfin par perdre cette propriété, en partie parce qu'ils sont trop fortement affaiblis par leur passage à travers les milieux transparents de l'œil, en partie parce qu'ils n'agissent plus sur la rétine.

Nous nous expliquons maintenant pourquoi tout corps chaud ne paraît pas lumineux.

Un poêle en fonte, chauffé, émet beaucoup de rayons calorifiques; mais les durées des vibrations de ceux-ci sont plus grandes que celle des rayons sensibles à l'œil. Ce n'est que sous l'influence d'une température plus élevée qu'il commence à rayonner de la lumière, c'est-à-dire à fournir des rayons dont la durée vibratoire est comparable à celles des rayons rouges du soleil. A mesure que la chaleur augmente, il se produit des rayons dont les vibrations sont de plus en plus rapides, jusqu'à ce qu'enfin le métal, étant au rouge blanc, fournisse toutes les lumières qui composent la lumière blanche. Nous arrivons du même coup à nous rendre compte de ce que devient la lumière absorbée par les corps. Les notions acquises sur l'essence de la lumière nous conduiraient à admettre que dans le phénomène d'absorption il y a destruction du mouvement vibratoire. En réalité, cette destruction n'est qu'apparente, le mouvement s'est transmis aux particules mêmes du corps absorbant; il les a mises en vibration; la durée de ces vibrations est trop grande pour qu'elles puissent se traduire en lumière, mais si leur intensité est assez forte, elles se révéleront par le calorique.

Si ces vibrations secondaires, engendrées par transport de mouvement, sont plus longues que les vibrations génératrices, il est cependant possible que leur durée reste dans les limites de celles des rayons sensibles à l'œil, surtout si les rayons générateurs appar-

tiennent à la classe de ceux dont les vibrations sont les plus courtes ou même à la classe des ultrà-violets.

Ce phénomène remarquable se produit par le passage de la lumière à travers beaucoup de substances solides et liquides. Le chemin parcouru par la lumière, à travers la masse matérielle, s'accuse alors par une trace lumineuse plus ou moins étendue. Pendant que de semblables corps sont exposés à la radiation solaire ou même à la simple lumière diffuse du jour, il semble qu'ils émettent, dans toutes les directions et de leur intérieur, une lumière colorée. On donne à ce phénomène le nom de fluorescence, parce qu'il a été pour la première fois signalé sur le spath fluor vert de Alston-Moor. On n'avait cependant pas donné à ce fait sa véritable signification. Le moyen le plus commode pour réaliser l'expérience, consiste à dissoudre le sulfate de quinine commercial des pharmacies, dans de l'eau aiguisée d'acide sulfurique.

Cette liqueur éclairée par la lumière solaire ou la lumière diffuse du jour, émet un beau reflet bleu. En concentrant les rayons solaires au moyen d'une lentille biconvexe, on aperçoit le faisceau lumineux immergeant coloré en bleu. Une solution diluée donne des effets plus étendus mais moins intenses qu'une liqueur concentrée. En effet, dans ce dernier cas, les vibrations courtes qui engendrent le bleu à leurs dépens, sont trop rapidement éteintes.

En éclairant la dissolution du sulfate de quinine, successivement par les diverses parties du spectre, on s'assure que le rouge, l'orangé, le jaune, le vert et le bleu ne produisent aucun effet.

La fluorescence ne commence qu'avec les rayons violets, elle augmente jusqu'à une certaine limite dans la zone ultrà-violette, puis diminue de nouveau et finit par s'éteindre.

Parmi le grand nombre de substances fluorescentes (1), une seule a reçu des applications techniques, en raison même de cette remarquable propriété. C'est le verre jaune, coloré par l'oxyde d'urane, ou le verre serin employé souvent pour les vases de luxé. Une plaque de ce verre offre à la lumière transmise une couleur jaune peu saturée, mais, vue par réflexion, elle émet de toute sa masse une lumière verte de toute beauté.

Ce magnifique effet ne se produit pas à la lumière d'une bougie ou d'une lampe; les rayons ultrà-violets faisant défaut, dans ce cas. Par contre avec l'éclairage électrique ou avec la lumière produite par la

(1) Nommons encore, comme exemples, la décoction d'écorce de châtaignier, la teinture de curcuma; les solutions aqueuses de gayac et de chlorophylle; les décoctions alcooliques de laque et de kermès qui toutes sont fortement fluorescentes. Le nombre des corps possédant cette propriété à un faible degré est encore plus considérable, on ne peut dans ce cas la mettre en évidence que par un examen attentif. Le papier est faiblement fluorescent, et c'est précisément là la cause d'erreur que nous avons signalée à propos de l'observation de l'extrémité violette du spectre reçu sur un écran en papier. Les diverses régions de l'œil humain ne sont elles-mêmes pas exemptes de fluorescence.

combustion d'un fil de magnésium, la dispersion lumineuse ou la fluorescence, est très-marquée, pour le verre d'urane comme pour les autres produits, doués des mêmes propriétés. Ce résultat était à prévoir, sachant que ces lumières sont chimiquement actives, et par conséquent riches en rayons à durées vibratoires courtes.

Quelque restreintes que soient, jusqu'à présent, les applications industrielles et artistiques des couleurs obtenues par fluorescence, j'ai cru devoir en parler, vu que cette question offre par elle-même un haut intérêt et que plus tard, peut-être, elle pourra conduire à des résultats pratiques importants.

Le lecteur trouvera plus de détails dans le remarquable travail de Stokes sur les variations de la réfrangibilité de la lumière (1).

§ 14. — Des couleurs produites par absorption.

Si un corps transparent affaiblit inégalement les éléments de la lumière blanche qui le traverse, celle-ci sortira modifiée dans sa composition et partant colorée.

Les couleurs ainsi engendrées sont appelées couleurs par absorption.

Pour se rendre compte de cet inégal affaiblissement,

(1) *Philosophical Transactions of the royal Society of London*, 1852, t. II, p. 463, et dans *Poggendorff's Annalen der Physik und Chemie, Ergänzungsband*, t. IV, p. 177.

il faut admettre que, suivant la durée de sa vibration, tel rayon transmet plus de force motrice aux particules du corps matériel qu'il traverse que tel autre. Il résulte de là, qu'après avoir traversé une certaine épaisseur du verre, les premiers seront devenus inappréciables, tandis que les seconds, transmis jusqu'à la rétine, pourront encore y provoquer une impression plus ou moins forte.

Les espèces lumineuses plus particulièrement affaiblies sont dites absorbées par le corps ; pour les autres, le milieu est plus ou moins transparent.

Les verres et les liquides colorés, se prêtent le mieux à l'étude de ces phénomènes.

En partant d'une épaisseur faible, que l'on augmente progressivement, on observe que ce n'est pas seulement le ton de la couleur, mais encore la teinte qui varie.

Pour certains liquides le phénomène est si frappant qu'ils paraissent verts en couches minces, et rouges sous une épaisseur plus grande. L'art et l'industrie n'ont pas encore tiré parti de cette propriété de quelques liquides colorés.

La pierre précieuse connue sous le nom d'*hyacinthe* (de Ceylan, pierre à cannelle), offre également un exemple frappant des variations de couleur, avec l'épaisseur de la masse absorbante. En couches minces, elle est jaune ou orangée ; en couches plus épaisses, elle prend une couleur rouge feu foncée. Delà les jeux de couleurs offerts par elle. La lumière qui ne la traverse qu'une fois nous arrive, suivant

l'épaisseur, avec une teinte jaune ou orangée; celle qui a subi plusieurs réflexions internes, et a, par conséquent, été soumise à une absorption plus étendue, est rouge foncé à l'émergence.

Les verres colorés eux-mêmes donnent lieu à des apparences semblables, bien que d'une manière moins prononcée. Ainsi, le verre recouvert d'une couche de verre rouge à l'oxydure de cuivre absorbe d'autant mieux les rayons que leur durée vibratoire est plus courte.

Le violet, l'indigo et le bleu sont donc annulés en premier; mais si l'enduit rouge est assez mince, il passera, non-seulement de la lumière rouge, mais encore de l'orangé, du jaune, voire même du vert.

Il suffit, pour s'en convaincre, d'appliquer une lame de cette espèce sur la fente du volet d'une chambre obscure, et d'étudier avec un prisme en flint-glass la lumière transmise.

A mesure que l'épaisseur de la couche colorée augmente, on voit diminuer et disparaître les rayons les plus éloignés du rouge. Les rayons rouges homogènes finissent par rester seuls (1).

Ce procédé permet de produire un rouge dont le feu et l'éclat l'emportent de beaucoup sur ceux de

(1) Dopter de Paris produit, sur ses verres gravés, des phénomènes de doubles teintes, en les recouvrant d'une couche vitreuse rouge et en corrodant celle-ci par places, de manière à ne lui laisser qu'une faible épaisseur, sous laquelle elle paraît jaune rouge. Les parties gravées étant de plus mates, elles semblent moins saturées que le fond; leur couleur n'est donc pas une simple dégradation du rouge grenat, mais elle se rapproche du rouge

tous les pigments. En effet, la lumière objective peut être augmentée jusqu'à devenir éblouissante sans que la couleur perde en saturation et devienne blanchâtre.

L'intensité des couleurs fournies par les verres colorés, les rend aussi très-propres à produire des effets chromatiques, même quand ils ne sont pas à lumière homogène, et doivent leur teinte, comme cela arrive pour la plupart d'entre eux, à l'affaiblissement très-inégal qu'ils font éprouver aux diverses espèces de lumières; quoique sous l'épaisseur où on les emploie ils donnent encore passage à tous ou à presque tous les rayons du spectre.

Nous déplorerons seulement le peu de soins apporté, dans ces derniers temps, dans une application qui méritait à juste titre d'être développée comme elle l'a été de nos jours.

On observe bien souvent, en effet, à côté des combinaisons de teintes les plus disparates, une association de verres de diverses clartés qui ne devraient jamais se trouver réunis dans le même échantillon.

Les verreries devraient chercher à produire et à livrer des séries assorties de verres colorés, de même ton ou de même clarté, et ne pas laisser à la clien-

brique ou de la nuance offerte par les figures, qui sur les vases étrusques détachent sur fond noir. Cette modification, loin de nuire à l'effet général, lui est plutôt favorable. On ne peut nier, en effet, que dans beaucoup de cas, lorsqu'on juxtapose un ton foncé et un ton clair, il est mieux de donner à ce dernier une nuance plus ou moins distincte de celle du premier. (Voir § 27.)

tèle le soin de réunir ces séries, en choisissant parmi les produits de diverses fabriques.

L'effet des couleurs pigmentaires fixées sur fibres textiles (soie, laine, coton, fil), ou appliquées en poudre sur une surface au moyen d'huile, de vernis, de colle, etc., repose également sur des phénomènes d'absorption.

Une fibre textile teinte en uni, vue au microscope à la lumière transmise, paraît uniformément colorée; on n'y distingue pas les particules isolées de pigment.

La lumière qu'elle renvoie est composée de deux parties distinctes: l'une est réfléchie immédiatement à la surface et ne contribue pas à l'effet coloré; la seconde est réfléchie par les parties profondes, à la face de sortie de la fibre dans l'air, et a, par conséquent, traversé deux fois la masse du fil; c'est elle qui provoque l'impression spéciale et caractéristique. Si l'angle d'incidence est nul ou faible, la première fraction est très-petite, comparée à l'autre, et l'effet coloré est au maximum.

Sous une incidence très-grande, presque rasante, obtenue en plaçant le tissu entre l'œil et une fenêtre, presque à la hauteur de l'œil, la lumière blanche réfléchie devient très-sensible.

La nature de la fibre et le mode de tissage influent beaucoup sur les proportions respectives de blanc et de lumière colorée, et parlant sur l'effet résultant qui ne peut être prévu d'avance. Ainsi, avec les diverses sortes de toiles, le velours, la peluche, l'atlas et le

damassé, les phénomènes de coloration changent d'une espèce à l'autre. Fixons plus particulièrement notre attention sur le cas où un tissu teint est éclairé par une lumière déjà réfléchie par lui. Généralement alors la couleur est, non-seulement plus saturée, mais encore modifiée dans sa teinte. Pour s'en convaincre, il suffit de regarder les plis d'un habit ou d'une draperie. Le côté opposé à l'éclairage offre, à côté de l'ombre foncée, un reflet coloré spécial produit par la lumière réfléchie une première fois sur la face directement éclairée. On comprend aisément que, dans ces conditions, la couleur doit être plus saturée, vu que la lumière génératrice subit une double absorption. Les choses se passent comme dans la superposition de deux verres bleus d'égale épaisseur, dont l'assemblage donne passage à une lumière bleue plus foncée, plus saturée qu'un seul. Reste à savoir la cause de l'altération de teinte.

Pour la découvrir, nous n'avons qu'à nous rappeler ce que nous venons de dire sur les changements de la couleur d'absorption, résultant de la longueur du chemin parcouru par la lumière dans la masse de la substance colorée.

Prenons comme exemple un tissu de soie teint en bleu de Prusse, au moyen d'un sel ferrique et de cyanure jaune.

La lumière qui éclaire directement le tissu, et qui est renvoyée immédiatement à notre œil, a traversé une couche de bleu de Prusse d'une épaisseur déterminée; tandis que celle qui a éprouvé deux réflexions,

a parcouru une seconde épaisseur de bleu égale à la première, et sa couleur ne pourra plus être la même.

Les tissus jaunes et orangés éteignent plus particulièrement les rayons à vibrations courtes. Aussi paraissent-ils plus rouges après une double réflexion, qu'à la suite d'une simple.

Les tissus bleus détruisent, au contraire, de préférence les rayons à vibrations longues. A la seconde absorption, ils auront annulé une plus forte proportion de ces vibrations; leur teinte apparaîtra donc plus violette, moins bleue qu'à l'observation directe.

La connaissance de ces phénomènes fit dire à Régnier (1), que toutes les couleurs, sans exception, vues après une double réflexion opérée sur elles-mêmes, sont plus rouges que la couleur vraie. Cette loi n'est pas générale; en effet, je tiens précisément entre mes mains un papier violet opaque dans les plis duquel la réflexion rend la nuance plus bleue.

La réflexion des couleurs sur elles-mêmes est, comme toute réflexion, d'une haute importance pour les peintres; aussi l'ont-ils étudiée avec soin. L'industriel ne doit pas non plus la négliger, car elle développe la couleur du tissu dans son état de plus grande concentration.

Pour les pigments appliqués en poudre, les choses se passent, en général, de même qu'avec les étoffes teintes. Chaque particule pigmentaire réfléchit deux

(1) Régnier, *De la lumière et de la couleur chez les grands maîtres anciens*, Paris, 1865, p. 38.

lumières : l'une blanche superficielle (1), l'autre colorée, provenant des couches profondes. La réflexion blanche est la plus forte, lorsque le pigment est en poudre sèche ; dès qu'on l'empâte avec de l'huile ou un vernis, ou qu'on le mouille simplement à l'eau, il devient plus foncé ; et cela se conçoit, si l'on se rappelle que, toutes choses égales d'ailleurs, la lumière est d'autant plus fortement renvoyée à son passage d'un corps dans un autre, que la différence de vitesse dans les deux milieux est plus grande (voir § 11, théorie du blanc). Or, la vitesse dans l'air est plus grande que dans le corps coloré ; dans l'eau elle est déjà affaiblie.

La vitesse de propagation du mouvement ondulatoire lumineux est, dans l'air, égale à 77,784 lieues de quatre kilomètres par seconde ; dans l'eau, elle est égale à 59,264 lieues ; pour l'huile de lin et les vernis, elle devient à peu près de 51,856, et comme dans les couleurs pigmentaires la lumière a une vitesse encore moindre, on voit que ceux d'entre eux qui ralentissent le moins la marche des rayons sont aussi ceux

(1) Certains pigments pris en cristaux, en masses cristallines ou en masses compactes, réfléchissent à leur surface une lumière colorée, différant par la teinte de leur couleur propre d'absorption. Ainsi le bleu de Prusse et l'indigo sont cuivrés à la surface frottée à l'ongle, les cristaux de murexide ou de fuchsine sont vert-scarabée. Cette modification superficielle et spéciale de la lumière est de peu d'importance pour nous, car les pigments colorés n'en offrent plus de vestiges, dans l'état où nous les employons, cependant certains papiers bleus laissent encore saisir un reflet cuivré provenant de la lumière réfléchie à la surface de la masse pigmentaire superposée.

qui s'obscurcissent le plus par le mélange avec l'huile ou le vernis. La différence de vitesse dans la couleur et le milieu ambiant atteint alors, en effet, une valeur minimum.

La rapidité plus ou moins grande de propagation de la lumière, dans les masses pigmentaires, n'est du reste pas la seule condition dont il faut tenir compte.

Si les particules de la couleur forment, par elles-mêmes, des masses opaques et ne renvoient pas uniquement la lumière à leur surface, mais encore celle qui pénètre dans leur intérieur, par suite de leur non-homogénéité, la teinte sera moins obscurcie par l'addition d'huile; cette portion de lumière rejetée par les réflexions internes ne subissant pas d'altération par ce mélange.

Les pigments à structure fine et complètement perméables aux liquides (eau, huile, vernis, etc.) s'obscurcissent le plus. Tels sont ceux que l'on emprunte directement aux règnes végétal et animal : carmin de cochenille, laque de garance; ou dans la composition desquels entrent des produits dérivant de la destruction de matériaux organiques.

La couleur ne devient pas seulement plus foncée, mais elle gagne encore en saturation, parce que la masse de lumière colorée, issue, par réflexion, des parties profondes, ne diminue pas aussi rapidement que celle de la lumière blanche, dérivée d'une réflexion superficielle.

Moins il y a de lumière réfléchié à la surface de

chaque particule, plus il peut en pénétrer dans sa profondeur, ce qui compense, en partie, la perte d'éclairage résultant de mauvaises conditions de réflexion. La quantité absolue de lumière renvoyée diminue, mais la proportion relative de lumière colorée, réfléchie dans l'intérieur des petites masses partielles, devient d'autant plus dominante comparée à la lumière blanche superficiellement réfléchie.

De là découle une différence notable entre les divers genres de peintures.

Tantôt, comme dans la peinture à l'huile, les parcelles colorées sont emprisonnées de toutes parts dans un lit desséché d'huile siccative ou de vernis ; tantôt, au contraire, les parcelles de poudre reposent les unes à côté des autres, sans autre lien que l'air ambiant (Dessins peints avec de la craie colorée), ou sont au moins, après dessiccation, exposées au contact direct de l'air, sur une étendue plus ou moins grande.

Dans le premier cas, les pigments paraissent plus saturés, mais plus pauvres en lumière que dans le second. Cette différence est, du reste, plus ou moins marquée suivant l'espèce de couleur.

Lorsque, pour produire des tons plus clairs, on ajoute du blanc, on augmente la dose de rayons blancs réfléchis par les particules de cette couleur. Ceux-ci s'ajoutent en partie aux rayons colorés émergents en diminuant leur saturation, mais ils se colorent aussi eux-mêmes, en pénétrant dans la substance colorée, avant d'arriver à l'œil. Ce der-

nier point est important à noter, car il permet d'expliquer pourquoi les couleurs éclaircies par du blanc gardent un degré de saturation beaucoup plus marqué, que lorsqu'on dispose en mosaïque des grains colorés et des grains blancs, chacun renvoyant directement sa lumière propre. Il existe une série de couleurs possédant, après avoir été mélangées à l'huile, une telle transparence qu'il devient inutile d'y ajouter du blanc, pour produire les tons dégradés. Il suffit de les appliquer (laque de garance, laque verte), en couches plus ou moins minces, sur un fond clair. On réalise ainsi des tons clairs beaucoup plus saturés que ceux obtenus par le mélange direct de particules blanches. En effet, toute la lumière réfléchie par le fond est obligée de traverser la couche de pigment qui, de son côté, ne réfléchit qu'une portion insignifiante de lumière blanche diffuse. Les artistes mettent à profit ce procédé d'éclaircissement qui ne nuit pas autant à la saturation, pour colorer les objets dans les parties qui ne sont pas directement éclairées sur le modèle, tandis que pour les blancs et les jaunes résultant de l'action immédiate de la lumière, ils font usage de couleurs mélangées à du blanc ou à du jaune de Naples.

Les couleurs transparentes ont, en outre, l'avantage de ne pas réfléchir à la surface de leurs particules, empâtées dans l'huile ou le vernis, une quantité sensible de lumière blanche, comme cela arrive plus ou moins, quoique sur une petite échelle, pour les couleurs opaques. Elles peuvent donc servir, lorsqu'on

les applique en couches minces sur les parties ombrées, à éliminer, par voie d'absorption, la lumière blanche superficielle envoyée par la couleur opaque sous-jacente. On arrive ainsi à donner à l'ombre la profondeur et la netteté nécessaires à la réalisation d'une illusion complète, et d'une impression harmonique et reposée.

Les couleurs transparentes sont, par leurs qualités optiques, des termes de transition entre les verres colorés et les couleurs opaques. Appliquées, par l'intermédiaire d'un vernis, sur verre ou tout autre milieu transparent, elles constituent un moyen d'action dans la peinture sur verre ; de même, fixées sur une surface métallique, elles simulent l'émaillage. Deux pigments colorés étant mélangés ensemble, la lumière qui sort des particules de l'un, pénètre encore dans celles de l'autre ; elle subit donc deux absorptions successives ; une première qui modifie la lumière blanche et la colore ; une seconde qui enlève encore certaines parties à cette lumière colorée et change la teinte ; le reste représente la couleur résultant du mélange. En disant que l'on *mêle des couleurs* on se sert d'une expression impropre et inexacte ; en réalité, on ne mêle que des pigments et l'effet produit est bien différent de celui que l'on réaliserait, en combinant les lumières que chacun de ces pigments, pris isolément, émet pour son compte. Dans ce dernier cas, la nouvelle couleur est fournie par addition et non par soustraction ; elle n'est pas plus simple, mais, au contraire, plus

complexe que chacune des parties constituantes (1).

Ainsi, le mélange de deux pigments complémentaires, l'un bleu, l'autre jaune, produit du vert, tandis que leurs lumières propres projetées, en même temps, sur la même place de la rétine, donnent l'impression d'un gris neutre, bleuâtre ou jaunâtre, suivant que les deux nuances se font exactement équilibre ou que l'une prédomine.

Il peut même se faire qu'un bleu et un jaune, dont le mélange pigmentaire fournit un vert assez vif, engendrent sur la rétine un rouge pâle.

On observe ce résultat lorsque le jaune n'est pas exactement complémentaire du bleu et vire à l'orangé. La plupart des jaunes de chrome du commerce, mis en présence de l'outremer, sont dans ce cas. Le phénomène en lui-même est très-remarquable, et l'exemple est bien choisi pour donner une idée de la différence entre la couleur pigmentaire complexe et l'impression lumineuse produite par la superposition sur la rétine des lumières émises par chaque pigment en particulier, puisque les deux résultats sont opposés, l'un est rouge et l'autre vert.

Faute d'avoir su démêler à temps cette distinction entre les deux effets, on a propagé pendant des siècles et l'on admet encore quelquefois un fait erroné.

(1) Voir à ce sujet : Helmholtz in *Poggendorff's Annalen der Physik und Chemie*, t. LXXXVIII, p. 60 ; ou du même *Physiologische Optik*, p. 20 ; ou encore le mémoire de Dove : *Ueber den Unterschied der auf der Palette des Malers entstehenden Mischfarben und der auf dem Farbenkreisel hervortretenden*. (*Poggendorff's Annalen*, t. CXXI, p. 142.)

L'orangé, le vert et le violet étant susceptibles d'être formés par des mélanges pigmentaires, tandis que le rouge, le jaune et le bleu ne le sont pas, on a considéré ces trois couleurs comme fondamentales ou primordiales et les trois autres comme dérivées. Cette manière de voir sembla corroborée par la publication faite en 1822, par sir David Brewster, d'une analyse de la lumière solaire. Ce savant crut avoir trouvé que celle-ci se compose essentiellement de rouge, de jaune et de bleu. Ces trois lumières, répandues inégalement sur toute l'étendue du spectre, produiraient, en se superposant en diverses proportions, toutes les nuances observées. Helmholtz (1) a relevé plus tard les causes de l'erreur commise par le célèbre physicien anglais. D'une part, le spectre soumis à son analyse renfermait de la lumière blanche diffuse; d'un autre côté, les verres et les liquides colorés à travers lesquels il faisait ses observations avaient dû modifier son impressionnabilité pour les couleurs, et fausser son jugement en certains points.

Ceux qui considèrent le rouge, le jaune et le bleu comme couleurs fondamentales, et les autres couleurs comme complexes, sont donc de nouveau rejetés sur le seul argument résultant du mélange des pigments. Mais l'interprétation donnée par eux aux phénomènes est inexacte. Ils supposent, en effet, qu'ils ajoutent une couleur à une couleur, tandis qu'en réalité c'est une soustraction qu'ils opèrent.

(1) *Poggendorff's Annalen der Physik und Chemie*, t. LXXXVI, p. 501.

Les résultats obtenus concordent mieux avec l'hypothèse de Thomas Young. Dans l'opinion de ce savant, le rouge, le vert et le violet sont plus simples, en comparaison avec les autres couleurs, en ce sens que la sensation correspondante n'exige que l'intervention d'une seule espèce de filets nerveux, tandis que pour toute autre sensation colorée deux ordres au moins de filets nerveux doivent être impressionnés.

Il est clair que ce sont ces dernières couleurs, celles qui, dans l'hypothèse de Young, sont toujours composées, dont la production par mélange de pigments sera la plus difficile.

En effet, comme par soustraction on ne peut qu'amoindrir et jamais augmenter la quantité des espèces de lumières contenues dans la couleur, que d'un autre côté la couleur additionnelle doit être toujours au moins plus foncée que la plus claire des deux composantes, elle ne pourra jamais étendre son influence sur un plus grand nombre de fibres que celles qui sont déjà excitées par l'une des composantes seules.

En réalité, le bleu et le jaune, dont le premier résulte de l'excitation simultanée des fibres vertes et des fibres violettes, et le second de l'excitation des fibres vertes et des fibres rouges, ne peuvent être obtenus par mélanges de pigments.

La couleur placée entre le rouge et le jaune, et celle placée entre le vert et le jaune se préparent par mélange, mais seulement avec le concours du jaune. Les intermédiaires entre le vert et le bleu, et entre le bleu

et le violet sont dans le même cas, mais ils exigent l'intervention du bleu. Les peintres forment toujours le pourpre par combinaison de pigments colorés. Ils se servent, à cet effet, d'un rouge spectral extrême, virant déjà au pourpre, tels que carmin ou laque de garance, et le marient avec du bleu. Malgré la beauté du rouge vermillon, il n'est pas propre à la génération du pourpre, en combinaison avec l'outremer, le bleu de cobalt ou le bleu de Prusse. La raison en est facile à voir. Ce pigment absorbe trop énergiquement le violet et le bleu du spectre. Pour le pourpre, il faut un pigment apte à émettre aussi bien des rayons à courtes vibrations, que des rayons à longues vibrations; c'est-à-dire un pigment qui porte en lui les éléments du pourpre; autrement, il est impossible de le produire, en enlevant, par l'intermédiaire d'un second pigment, une partie de la couleur du premier. Par contre, le vert et le violet se forment facilement par le mélange du jaune et du bleu, du bleu et du pourpre ou du cramoisi.

Comment les choses se passent-elles pour le rouge?

Le rouge prend naissance lorsque toutes les espèces de lumières sont absorbées, excepté celles dont la durée vibratoire est la plus longue; telle est la cause de formation du rouge avec un verre coloré à l'oxydure de cuivre. Le carmin en poudre se rapproche beaucoup du véritable rouge, mais lorsqu'il est préparé pour la peinture, il prend une nuance cramoisie ou pourprée. Les peintres ne forment leurs vrais rouges que par mélanges, en se servant, il est

vrai, de couleurs appartenant déjà à la catégorie du rouge. Si la couleur doit être très-saturée, on donne une couche de vermillon (ou de minium lorsqu'il s'agit de couleurs à l'eau, par conséquent une couche rouge jaune), et on recouvre d'une seconde couche de carmin de cochenille (couleur à l'eau) ou de laque de garance (couleur à l'huile), afin d'absorber l'excès de jaune et de jaune vert. Je suis loin de vouloir tirer de ces résultats une preuve de l'exactitude de la théorie de Young. La solution de cette importante question doit être cherchée sur un autre terrain. Je désirais seulement montrer, qu'elle se prête mieux à l'explication des faits observés journellement dans la pratique du peintre, que la théorie des trois couleurs simples (rouge, jaune et bleu), déduite uniquement de ce genre d'observations.

Nous avons vu plus haut, que par suite de l'absorption successive produite par le mélange de pigments, on ne peut augmenter par ce mélange ni la quantité absolue de lumière, ni le nombre des lumières partielles. La première est, au contraire, toujours affaiblie et le second l'est souvent.

La quantité de lumière perdue, par le fait du mélange, dépend de la manière dont se répartit l'absorption sur les diverses espèces de lumières émises par les deux pigments. Plus la lumière émise par l'un est absorbée par l'autre et réciproquement, plus il y aura de déficit.

Un pigment étant donné, il est impossible de dire avec certitude, avant d'avoir fait l'essai, comment

l'absorption qu'il exerce se répartira dans le spectre; et comme il est plus facile de faire un essai de mélange, que d'exécuter, avec les précautions, voulues, deux expériences spectrales comparatives aucun praticien intelligent n'aura recours à ce procédé indirect d'appréciation. L'expérience acquise ou les fruits de l'enseignement apprendront à chacun quelles sont, parmi les couleurs dont il dispose, celles qui s'obscurcissent par leur mélange et celles qui ne produisent pas cet effet. L'une des couleurs absorbant certaines lumières émises par l'autre, il peut arriver que le nombre des espèces de lumières soit diminué. Ainsi, en superposant deux verres, dont aucun n'est monochromatique, on arrive à produire une lumière homogène. On pourrait, d'après cela, penser que le mélange des pigments constitue un excellent moyen pour saturer les couleurs; mais en pratique ce phénomène n'a lieu qu'exceptionnellement; il exige, en effet, une condition qui n'est que rarement réalisée. Le reste non absorbé doit contenir peu des lumières dont l'ensemble forme le blanc.

En général, deux pigments saturés donnent des mélanges d'autant moins saturés, qu'ils sont plus éloignés l'un de l'autre sur le cercle chromatique. Cette règle n'est pas absolue, car il existe une série de bleus et de jaunes, qui, bien que diamétralement opposés sur le cercle, donnent de belles combinaisons vertes. Voici la raison de cette exception :

Les couleurs jaunes absorbent principalement les

lumières à courtes vibrations, les bleues éliminent celles à vibrations longues, mais les deux espèces de pigments émettent facilement les rayons à vibrations moyennes, parmi lesquels le vert domine.

D'un autre côté, le principe de soustraction, dont dépend la nature de la couleur complexe résultant du mélange de divers pigments, ne peut pas être invoqué d'une manière exclusive; il est souvent combiné d'une manière plus ou moins marquée avec le principe de l'addition.

En examinant au microscope un vert, produit par le mélange d'une poudre bleue avec une poudre jaune, on remarque l'existence de particules claires d'un jaune vert, à côté d'autres plus foncées d'un bleu vert. Les premières sont dues à la superposition des parcelles jaunes aux bleues, les autres à la superposition de la poudre bleue à la poudre jaune. Ces deux systèmes étant très-voisins, ils mélangent leurs effets sur la rétine et produisent le vert moyen.

Plus les particules jaunes et bleues sont grosses et opaques, plus les premières paraîtront jaunes et les secondes bleues, plus aussi le principe de la soustraction cédera le pas à celui de l'addition.

Or, comme par addition ou par mélange sur la rétine, le jaune et le bleu donnent, non du vert, mais du gris, la couleur devient par là moins belle. Il n'en est plus de même dans la génération de l'orangé, par mélange de rouge et de jaune, ou du violet, par mélange de pourpre et de bleu; la superposition des composantes sur la rétine ne produit plus

de gris, mais une couleur voisine de celle formée par le mélange des pigments ; aussi la différence entre les effets, par addition ou par soustraction, est-elle beaucoup moins marquée que pour le bleu et le jaune.

Cette différence se révèle souvent d'une manière frappante, par le mélange de certains pigments colorés avec le blanc ; ainsi, en étalant une couche mince de vert de vessie sur un fond blanc, on obtient un vert assez vif, quoique clair. Dans ces conditions, la soustraction seule entre en jeu ; la lumière réfléchie par le fond blanc doit traverser la couche verte et subir ainsi une seconde absorption, après en avoir déjà éprouvé une, lors de son premier passage à travers la couleur transparente.

Mêle-t-on, au contraire, deux poudres, l'une verte et l'autre blanche, on remarque que la couleur résultante perd très-rapidement sa saturation, lorsqu'on augmente la dose de blanc ; elle devient terne et se rapproche de la couleur des feuilles d'olivier ou de sauge.

Ces observations datent déjà de très-loin ; ainsi Cennino Cennini (1), dit que l'on éclaircit généralement les couleurs propres à la peinture des fresques, en y incorporant du blanc de Saint-Jean (voir § 41) ; quant aux verts, s'ils doivent rester beaux et vifs, c'est une terre ocreuse jaune (*giallorino*) qu'on y ajoutera ; le blanc ne convient que pour la couleur

(1) Cennino Cennini, *loc. cit.*, p. 69.

verte se rapprochant de celle des feuilles d'olivier ou de sauge.

La principale raison de cette perte d'éclat des verts, sous l'influence du blanc, réside dans la couleur de la lumière du jour. J'ai démontré plus haut, qu'en réalité elle est rouge; la sensation du blanc, qu'elle provoque en nous, dépend de sa prédominance continuelle. Cette lumière, ajoutée sans modification au vert, lui sera donc plus préjudiciable qu'au rouge, au bleu ou au jaune.

Le jaune clair incorporé au vert donne-t-il réellement les tons clairs de cette couleur?

Evidemment, non. Les tons virent au jaune; mais ils ont plus de couleur, et l'on est moins sensible à cette modification de nuance, par cela même que dans la nature les verts paraissent jaunâtres, s'ils sont fortement éclairés, et bleuâtres sous un éclairage plus faible.

Les couleurs transparentes représentent l'application la plus franche du principe de la soustraction.

Leurs particules pigmentaires isolées ne renvoient pas des quantités sensibles de lumière. Celle-ci provient du fond sous-jacent; elle traverse l'une après l'autre les particules pigmentaires mélangées, et subit successivement leur absorption. C'est pour cette raison, que l'on peut avec ces couleurs, comme le fit déjà Lambert, produire, par l'union du rouge, du bleu et du jaune, une teinte qui passe au noir, sous une couche suffisamment épaisse.

D'un autre côté, il n'est pas étonnant si Prangen

n'a pas réussi à composer du noir par le mélange de poudres rouges, bleues et jaunes ; car, dans ce cas, chaque particule réfléchit de la lumière, et le principe de soustraction se complique de celui d'addition.

§ 15. — Du noir.

Nous ne devons pas abandonner les couleurs d'absorption sans parler du noir.

En toute rigueur, un corps n'est noir qu'autant qu'il absorbe intégralement la lumière incidente. De fait, cette condition n'est absolument réalisée par aucun des pigments que nous considérons comme noirs. Le plus souvent, la lumière renvoyée est incolore, et la teinte, au lieu d'être noire, est seulement d'un gris foncé ; d'autres fois la lumière réfléchie est colorée, soit en brun, soit en rouge ; le noir est alors brunâtre ou rougeâtre. Dans le premier cas, on obtient le véritable noir, en ajoutant au pigment une couleur transparente, d'un brun très-foncé, paraissant même noire en couches épaisses, ou bien encore, en en recouvrant la peinture. Une couche d'une semblable couleur, qui paraîtrait encore brune sur un fond clair, en laissant passer une partie de la couleur réfléchie par celui-ci, est suffisante pour détruire le reflet gris émis par un fond gris noir. Elle absorbe, en effet, la petite quantité de lumière blanche, et de plus ses particules n'émettent pas par elles-mêmes de lumière diffuse sensible.

Dans le second cas, lorsque le noir est teinté, on

choisira une couleur transparente, dont la nuance est complémentaire de celle du faux noir.

C'est sur ce principe que repose l'emploi du bleu de Prusse et de la laque verte, pour la préparation des couleurs noires mélangées, employées depuis longtemps et encore aujourd'hui dans la peinture à l'huile. De même, on donne souvent à la soie, que l'on veut teindre en noir, un pied de blen de Prusse, afin de détruire toute tendance au rouge ou au brun et d'augmenter la pureté du noir.

Si l'on fait souvent usage dans la peinture, pour produire le noir, de l'un des pigments noirs ordinaires, tels que noirs de fumée, de vigne, d'os ou de noyau, soit isolément, soit comme base, c'est plutôt par raison d'économie que par suite d'une nécessité physique. Régnier (1) n'indique aucun de ces pigments noirs comme parties constitutives de la palette des grands maîtres, depuis Hubert et Jan Van Eyk jusqu'à Rubens et ses élèves; il mentionne à un autre endroit de son livre les beaux noirs obtenus avec le bitume de Judée, l'outremer et la laque de garance.

Ces couleurs sont toutes les trois relatées dans l'énumération de celles qui composaient la palette des peintres (2). En les unissant en proportions

(1) Régnier, *De la lumière et de la couleur chez les grands maîtres anciens*, Paris, 1865.

(2) Régnier ne publie aucune source ni aucune recherche personnelle, à l'appui de ses données sur la palette des grands maîtres anciens. Mais nous n'avons pas à nous préoccuper ici du fondement

convenables, on peut réaliser un gris normal, au moyen d'une couche qui n'est pas trop couvrante, appliquée sur un fond blanc. Si l'une d'elles l'emporte, on aura une nuance grise, virant du côté dominant, mais toujours très-foncée.

Les pigments noirs, simples, portés en couches non couvrantes sur un fond blanc, ne donnent pas toujours, comme on le sait, un gris neutre. Le plus souvent ils prennent par là une teinte brune. Ces couleurs laissent, en effet, mieux passer les rayons à longues vibrations que ceux à courtes vibrations. Cet effet s'observe toujours pour les particules de noir de fumée ou de tout autre charbon broyé; or la plupart de nos pigments noirs s'obtiennent par carbonisation ou proviennent de charbons fossiles. La teinte brune est d'autant plus évidente que la poudre est plus ténue. Les particules plus grosses arrêtent également les rayons à longues vibrations; aussi n'obtient-on, dans ce cas, une couche non entièrement couvrante, qu'à condition de disséminer assez les particules, pour laisser des intervalles blancs; l'impression des points blancs se confondant alors sur la rétine avec celle des noirs interposés, le résultat final sera un gris neutre, nullement nuancé de brun.

La transparence de la poussière de charbon pour

plus ou moins solide de ses assertions en général; mais uniquement de l'exactitude de ce fait, qu'avec le bitume, l'outremer et la laque de garance, on peut composer un beau noir bien pur, ne le cédant à aucun autre pour la profondeur.

les vibrations à longue durée, croît au delà des limites appréciables à l'œil. Ainsi Macedonio Melloni a démontré qu'une couche de noir de fumée, assez épaisse pour intercepter toute espèce de rayons lumineux, donne encore passage à des rayons à durées vibratoires plus longues que celles du rouge extrême, c'est-à-dire à des rayons invisibles, et dont le thermomètre seul peut révéler la présence.

Le mélange d'un pigment noir, avec un pigment coloré, ne produit en aucun cas un des tons foncés ou rabattus de la même nuance.

En effet, la couleur perd par là de sa saturation et la teinte change plus ou moins de place sur le cercle chromatique.

Toute couleur obscurcie au delà d'une certaine limite est moins saturée, car la perte de lumière provoque, par elle-même, un affaiblissement dans le caractère propre de la couleur (voir § 2). D'un autre côté, comme nos pigments noirs réfléchissent encore de la lumière, et sont, en réalité, gris foncé ou plus souvent gris brun, leur mélange avec une autre couleur doit changer les rapports entre la lumière normale et la lumière colorée, aux dépens de cette dernière.

Voici encore une autre cause d'altération pour un semblable mélange.

Ajoutons du noir d'ivoire à du jaune de chrome, colorons avec ce mélange toute la surface d'un disque en carton et portons-le sur la toupie chromatique. Prenons aussi deux des disques de Maxwell, de moindre

diamètre (voir § 5, fig. 9), l'un en carton noirci avec du noir d'ivoire, l'autre en carton coloré au jaune de chrome, et fixons-les également sur la toupie, de manière à obtenir, pendant la rotation, une couleur complexe d'une clarté égale à celle du grand disque; nous trouverons le dernier moins saturé que le cercle concentrique. Cependant les causes de diminution de saturation mentionnées plus haut, agissent dans les deux cas, il doit donc en exister une autre et la voici :

Avec le mélange de jaune et de noir préparé d'avance, la lumière colorée en jaune, qui arrive à l'œil, n'a en général traversé qu'un seul grain de chromate, vu que les particules de ce corps sont isolées les unes des autres par celles du noir. Au contraire, là où le chromate est isolé, la lumière se propage de grain en grain par réfraction et par réflexion; elle traverse plusieurs particules et fournit par sa réunion avec la lumière neutre, réfléchie superficiellement, une couleur plus saturée que dans le premier cas.

Les mêmes considérations s'appliquent aux autres couleurs que l'on mélange au noir.

Il résulte de là, que nous disposons d'un moyen d'atténuer la perte de saturation provoquée par l'addition de noir. Il suffit, pour cela, de ne pas mélanger le noir en nature, mais de le disposer par points fins ou par traits minces, parallèles et assez rapprochés pour que l'impression sur la rétine paraisse continue.

Il est vrai que nous possédons d'autres procédés pour former les tons foncés dont nous avons besoin, mais on emploie souvent la méthode précédente. Et il est nécessaire d'en connaître la nature et la signification pour comprendre l'impression des couleurs. On réalise très-souvent, dans cette partie, des tons foncés, en fixant une couleur transparente sur un fond chagriné blanc et noir. Aux points correspondants au noir, celle-ci ne produit pas d'effet, car le peu de lumière émise est absorbée ; mais, aux endroits où elle couvre le blanc, elle agit au maximum, et la couleur complexe résulte de la superposition sur la rétine de petites surfaces, alternativement noires et fortement colorées, disposées en mosaïque. J'ai dit que ce mode de mélange, comparé au mélange mécanique, donne plus de saturation, tant que l'une des composantes est noire ; mais on ne doit pas en conclure qu'il en sera toujours de même, toutes les fois qu'il s'agira de mélanger une couleur foncée à une couleur claire.

Si le pigment foncé est lui-même coloré, d'autres considérations doivent intervenir ; en effet, dans la méthode par juxtaposition, l'effet coloré se calcule d'après le principe d'addition ; dans la méthode par mélange mécanique, c'est surtout le principe de soustraction qui domine. On sait, par exemple, que le jaune de chrome et un bleu foncé produisent par soustraction des tons verts assez saturés, qu'on n'obtiendra jamais par addition, avec les mêmes produits.

18/x/1983 Mutilo de pag 159

168 DES COULEURS ET DE LEUR GÉNÉRATION.

Arrivons à la seconde proposition énoncée plus haut : Une couleur mélangée mécaniquement au noir, ne perd pas seulement une partie de sa saturation, mais sa teinte est modifiée et change de place sur le cercle chromatique. Cet effet se produit même par le mélange de noir et de blanc.

Reprenons pour le prouver l'expérience de la toupie. Le grand disque est recouvert d'une couche de noir d'os, incorporé à du blanc Kremnitz, assez épaisse pour arrêter toute influence du fond blanc sous-jacent. Les deux disques de petits diamètres reçoivent, l'un du noir d'os, l'autre un enduit au blanc de Kremnitz. Comme dans la première expérience, on ajuste ces deux disques de manière à avoir la même clarté, dans le cercle interne et l'anneau extérieur, pendant que l'appareil est mis en rotation. On observe dans ces conditions que la nuance du grand disque offre une légère teinte bleue.

La cause de ce phénomène réside dans un effet de milieux troubles, provoqué par les particules de blanc de céruse, mécaniquement mélangées au noir (voir § 10). Dans la première expérience, faite avec du jaune de chrome et du noir, la nuance vire au vert. Il est clair que si noir et blanc mélangés engendrent du bleu, jaune et noir donneront du vert. Ajoutons de plus, que les pigments jaunes, pris en couches minces, semblent plus verdâtres qu'en couches épaisses.

Le résultat sera donc le même pour des particules de jaune, isolées les unes des autres par des particules de noir. Ces pigments absorbent, en effet, mieux les

VA 1 1540047





